

크라우드소싱(crowdsourcing)을 이용한 환경보건 연구 방법의 고찰

이보람 · 이기영[†]

서울대학교 보건대학원 환경보건학과 및 보건환경연구소

Review of Environmental Health Research through Crowdsourcing

Boram Lee and Kiyoung Lee[†]

Department of Environmental Health and Institute of Health and Environment,
Graduate School of Public Health, Seoul National University, Seoul, Korea

ABSTRACT

Background: The development of technology can be beneficial for the life and health of human society. Crowdsourcing refers to drawing upon a large pool of individuals in order to seek services, ideas, or other contributions. With the development of information communication technology, crowdsourcing is able to provide powerful results in environmental health research.

Methods: We searched ‘crowdsourcing’ and ‘citizen science’ for keywords related to the environmental health field and only selected journal articles and conference proceedings material, such as research reports and WHO reports.

Results: This paper reviewed environmental health research using crowdsourcing. Examples of such research based on crowdsourcing included practices in environmental disasters, noise monitoring, global positioning system (GPS) technology, smart phones, attached portable devices and information delivery by web. Crowdsourcing methods can provide notably distinct approaches for future environmental health research. However, it is also important to protect personal information whenever crowdsourcing is applied to data generation and information dissemination.

Conclusion: We expect that this review may provide useful information for the development of new environmental health research methods using crowdsourcing and citizen science.

Keywords: Citizen science, Crowdsourcing, Environmental health, mHealth, Smart phone

I. 서 론

최근 과학기술의 발전으로 정보의 공유가 쉽고 편리해지면서 국민 참여에 의한 지식의 창출과 배분이 활성화 되고 있으며, 이는 “사회적 자본(social capital)”으로 정의된다.¹⁾ 사회적 자본이 효과적으로 활용되기 위해서는 상호 구조적 개체 간의 신뢰가 형성되어야 하고, 실질적인 자료 활용과 정보공유가 일어

나야 가능할 것이다. 다시 말해서 정보를 수집하여 공유하는 참여자(개인 또는 단체)들은 데이터 수집에서 분석, 결과도출 및 모든 과정에 대한 신뢰를 가질 수 있어야 하고, 이 과정을 진행하는 주체(단체 또는 국가)는 참여자들에 의해 얻어진 자료가 참여자들의 이익을 위해서 사용된다는 점을 확실히 인지하게 하여야 한다. 단지 일부 이익 집단의 영리목적만을 달성하기 위함이거나 공개되는 정보의 신뢰도

[†]Corresponding author: Department of Environmental Health, Graduate School of Public Health, Seoul National University, Seoul, 151-742, Korea, Tel: +82-2-880-2735, Fax: +82-2-762-2888, E-mail: cleanair@snu.ac.kr

Received: 26 March 2014, Revised: 21 April 2014, Accepted: 21 May 2014

가 떨어진다면, 이러한 대중 참여 지식공유 행태의 진행이 순탄하지 못할 것이다. 이렇게 모아진 정보의 투명한 활용이나 참여자의 개인정보 보호도 사회적 자본의 원활한 활용에 중요한 역할을 한다. 이러한 상호 신뢰의 과정과 보호장치는 개인의 권리보호와 자료 활용자의 책임 등이 확실하게 정해진 후에 진행될 수 있다.

크라우드소싱(crowdsourcing)은 ‘대중(crowd)’과 ‘외부 자원 활용(outsourcing)’의 합성어로, 비전문가인 대중에게 문제과악이나 해결책을 찾도록 아웃소싱하는 것이다. 크라우드소싱이라는 말은 Jeff Howe에 의해 2006년 6월 와이어드(Wired) 잡지에 처음 소개되었다. 이 개념은 웹 2.0으로 가능해진 새로운 다양한 가능성 중 핵심적인 것 중 하나로서 ‘다수의 인력 풀은 소수의 전문가보다 낫다’라는 믿음 아래 다양한 사람들이 더 나은 해결책을 제시할 수 있을 것으로 보고 있다. 이전에는 해당 업계의 전문가들이나 기업 내부자들만 접근 가능하였던 정보를 대중과 공유하여 제품 혹은 서비스의 개발 과정에 비전문가나 외부 전문가들에게 참여기회를 제공하여 혁신을 이루고자 하는 방법이다. 이를 통해 한정적인 내부의 인적 자원에만 의존하지 않고 많은 외부의 인적 자원의 도움을 받을 수 있으며 또한 외부인은 이러한 참여를 통해 자신들에게 더 나은 제품과 서비스를 이용하게 되고, 이익을 공유하는 것도 가능하다. 이렇게 대동한 크라우드소싱은 현재 경제, 문화, 정치 등의 다양한 분야에서 활용되고 있다.

이런 크라우드소싱은 환경보건분야의 연구에서도 활용이 가능하다. 휴대형 소형기기의 발전으로 이러한 기기를 이용한 환경 모니터링과 데이터 수집, 그리고 수집된 데이터를 무선 통신 네트워크를 통하여 공유하는 연구방법이 개발되고 있다. 이러한 연구는 아직 초기 실험연구 단계에 머물러 있기 때문에, 비용에 따른 이익을 결정짓는 것은 어렵다는 단점이 한계점이 있다. 세계보건기구(WHO)에서 지원하여 가나(Ghana)에서 수행된 연구의 경우, 택시 운전기사들을 통하여 도시의 소음레벨과 온도를 수집하고 수집된 데이터를 바탕으로 도시의 다양한 환경정보 체계를 구축하는 연구가 진행되었다.²⁾ 이는 매일 자동차로 도시 전역을 이동하는 택시운전기사들을 통한 효율적인 데이터 수집을 실현한 연구이다. 이와 같은 실시간 환경동태 모니터링 “map”구축의 목적

은 실시간 환경 감시뿐만 아니라, 도시계획 전략의 수립 및 정책의사 결정, 그리고 개인의 건강수준과 복지를 모니터링 하기 위해서 수행되기도 한다.³⁾ 2009년 Eric Paulos는 시민집단을 통한 데이터 수집을 “citizen science”로 정의하였다.⁴⁾ 하지만 이와 같은 참여형 데이터 수집은 추후의 주최 결정자에 의한 정보 집계나 데이터 분석단계에 있어 잠재적인 개인 정보유출과 같은 심각한 문제를 일으킬 염려가 있다.

이 논문은 최근에 보고된 크라우드소싱을 활용한 다양한 환경보건 연구방법에 관하여 고찰하였다. 미래형 환경보건 연구를 가늠해 볼 수 있는 고찰이 될 것으로 기대한다.

II. 연구 방법

본 고찰을 위하여 ‘crowdsourcing’과 ‘citizen science’의 키워드를 검색하여 환경보건에 관련된 영역에 한하여 선정된 국외학술지의 논문과 학술대회 발표자료 연구 보고서자료 등을 참고하였으며, WHO 및 관련기관의 웹사이트에 공시된 보고서와 자료를 활용하였다. 자료의 보완을 위하여 국제학술대회 발표논문과 국외단행본 등을 참고하였다.

III. 결 과

1. 크라우드소싱의 환경보건 활용 분야

1) 환경재난 시 활용방법

환경재난은 예고 없이 수시로 일어나고 있으며 이러한 재난은 경우에 따라서 광범위한 지역에 영향을 미칠 수 있고, 그 영향이 장기간 지속될 수 있다. 환경재난은 환경보건분야에서 중요한 이슈 중 하나이다. 환경재난의 종류에 따라, 발생 직후 신속하게 그 지역의 접근이 어려울 수 있으며 이때, 스마트 폰을 이용한 정보의 전달이 중요한 역할을 할 수 있다. 또한 환경재난에 의해 장기적으로 영향을 받는 경우도 마찬가지로이다.

2011년 일본에서 발생한 후쿠시마 원자력 발전소 사고로 인해 약 50만 명의 이 지역 주민이 방사선 노출을 피하기 위해 이주를 하였다. 방사선의 노출량이 매우 높아지고 방사선 노출 지역 확산에 대한 우려 때문에 많은 가이거 측정기(Geiger counter)를 활용하여 방사선의 측정을 시작하였다. “Cosm

Network”이라는 시민 참여 네트워크가 쓰나미가 발생한지 채 2주도 되지 않아 결성되었고 이 네트워크의 참여자가 수집한 방사선 자료는 정부와 민간인에게 중요한 자료가 되었다.

최근에는 일본의 과학기술성(Ministry of Education, Culture, Sports, Science and Technology, MEXT)과 세이프캐스트(Safecast)라는 조직이 1,024대의 가이거 측정기를 추가로 배포하였다. 이와 같이 시민의 참여로 인해 후쿠시마 사고 이후 2700만개 이상의 방사선 자료가 측정되어 축적되었다. 이런 자료의 축적은 참여자와 관련자에게 필요한 정보를 제공하는 매우 유용한 수단이며 이러한 방법의 측정이 지속적으로 진행이 되도록 하여야 한다. 이와 관련하여 일본에서는 Japan Nuclear Crowd Map(JNCM)이라는 웹 플랫폼을 만들어서 이들 3개의 조직에서 측정되는 자료를 한 곳으로 모으고 있다. 수집된 자료는 분석 후 자료의 갭을 파악하여 추후에 부족한 자료를 수집할 수 있도록 참여자에게 알리고 정보를 활용할 수 있도록 만들고 있다.

크라우드소싱을 환경재난 시 활용 수 있는할 범위는 바다의 파도, 쓰나미 경보, 홍수, 미세먼지 주의보, 수질 경보 등이며 이와 같은 정보들을 스마트폰의 위치에 따라 지역에 적절한 지역 정보를 전송하여 시민들에게 현장 관측치에 대한 정보를 전달하고 동시에 지역 환경에 대한 의식을 고취시킬 수 있다. 이러한 방법은 장기적인 환경문제를 해결하고, 환경재난의 큰 피해를 예방하는데 효과적인 방법이다.⁵⁾

2) 대중 관찰 프로젝트

환경보건에서 크라우드소싱을 활용한 연구의 장점 중 하나는 많은 다양한 장소의 많은 사람들로 부터 정보를 수집할 수 있다는 점이다. 그러나 정보의 정확성이 없다면 이에 대한 활용 가치가 떨어질 수 있기 때문에 정보의 정확성은 반드시 확보되어야 한다.

오래 전부터 진행되어 온 개화시기 관찰 자료는 기후변화에 대한 패턴을 파악하는데 중요한 역할을 하고 있다. 실제로 식물관찰 네트워크는 수천 년 전부터 중국과 로마의 농업산업에서 시행되었다. 근대 유럽에 식물관찰에 중요한 역할을 한 사람은 Egon Ihne이다. Egon Ihne는 한 종류의 식물을 59년간 관찰하였는데 1883년부터 1941년까지 라일락(*Syringa vulgaris*)

의 개화시기를 관찰하였고 매년 그 결과를 게재하였다.⁶⁾ 이런 활동을 시작으로 네트워크가 시작되었으며 독일을 시작으로 호주, 일본, 중국, 북미, 남미 등 많은 나라에서 식물 및 곤충 관찰 네트워크를 만들어서 관찰한 자료를 모으고 사진으로 남기고 있다.⁷⁾

덴마크에서 시작된 iSpex라는 프로젝트는 사용이 간단하면서 구매, 유지비용이 저렴한 분광기(Spectroscopic)를 스마트폰에 장착하여 대기 중 입자의 농도를 측정하는 국가적 규모의 프로젝트를 진행하였다. 이 도구는 스마트폰에 부착된 분광기를 활용하여 햇빛의 구조를 이용, 공기 중의 입자의 수준을 파악하는 것이다. 이러한 연구는 인간의 화석 연료의 연소에 의한 변화가 지구 기후변화의 미치는 영향 등을 연구하는데 중요한 역할을 한다. 이 연구에서는 시민들의 참여율을 높이기 위해 각각 참여자들에게 우편료를 포함하여 3.35달러(한화 약 4,500원)에 개발된 측정기기를 주문을 할 수 있게 하였다.⁸⁾ 이러한 결과, 2013년 7월 8일 네덜란드의 총면적 41,542 평방킬로미터의 면적에서 아침과 저녁 2차례에 걸쳐 6,000개의 측정 자료들을 확보할 수 있었다. 이번 프로젝트의 목적은 단지 한 대에 10,000원 정도에 불과한 저가 기구를 활용한 측정 결과와 기기 한 대 당 1억5천만 원이 넘는 고효율의 측정기기가 설치된 네덜란드의 19개 측정소에서 구해진 결과와 비교하여 그 수준을 비교하는 것이다. 단편적인 자료의 비교뿐만 아니라 이번 연구에 참여한 수천 명의 시민에게 기후변화와 초미세입자에 대한 관심을 심어주고 연구참여 과정을 이해하게 했다는 것 또한 큰 의의가 있다.

미국 남가주 대학교(University of Southern California)의 연구팀에서는 스마트폰 카메라를 이용하여 공기 중 에어로졸 농도를 측정하는 “Visibility” 어플리케이션을 개발 하였다. 어플리케이션의 사용 방법은 어플리케이션 실행 후 하늘을 카메라에 담아 촬영하여 업로드 하게 되면, 스마트폰의 global positioning system(GPS)와 가속도계(accelerometer) 정보로 사진과 함께 위치와 시간이 중앙서버로 전송된다. 전송된 사진은 하늘의 발광도 추정 모델에 의하여 가시도와 공기 중의 에어로졸 농도를 평가한다. 본 기술은 미국 환경청(U.S. EPA)과 협력하여 그 사용범위와 기술을 확대하려는 계획을 가지고 있다.⁹⁾ 스마트폰의 높은 보급률과 사용률, 그리

고 사용이 용이한 어플리케이션의 개발로 인해 기존의 방법보다 적은 비용과 노력으로 대중대중부터 빅데이터를 얻을 수 있는 유용한 방법 중 하나로 자리잡아가고 있다.

2. 스마트기기 기술의 환경보건분야 활용

1) 소음측정연구

환경보건분야에서 시민과 스마트 폰을 활용하여 진행한 최초의 연구는 시민의 참여에 의한 소음의 측정일 것이다.¹⁰⁾ 국민들은 생활환경 내 유해요소에 대한 정보의 욕구가 커지고 있으며 일상생활에서 노출되는 소음 수준은 국민들의 건강에 매우 중요한 결정인자들 중 하나이다. 소음은 대도시의 가장 큰 환경문제 중 하나이며 사람의 건강과 행동, 생활의 안녕, 생산능력 등에 영향을 미친다.¹¹⁾ 현재 우리나라의 소음 모니터링은 각 기초 지방 자치 단체에 1~2개씩 존재하는 측정소를 통해 이루어지고 있으나, 그 정보는 국민들의 건강증진을 위한 실질적인 생활소음 측정 자료의 역할을 하지 못하고 있다. 클라우드소싱을 활용한 소음 모니터링 연구는 이와 같은 지역적으로 고정된 장소에서 측정되는 자료의 단점을 보완할 수 있는 대안이 될 수 있다.

스마트 폰은 지속적인 인터넷 접속성과 뛰어난 휴대성과 높은 보급률로 인하여 클라우드소싱 연구에 활용에 최적의 조건을 가지고 있다. 또한 마이크, 카메라, GPS, 동작센서를 탑재하고 있어 다양한 분야에 적용이 가능하다. 스마트 폰을 이용한 '클라우드소싱' 연구의 잠재적인 가능성은 선행된 몇몇 선행 연구를 통하여 입증되었다. 이 연구들에서는 휴대용 센서를 부착한 휴대전화기를 통하여 대도시 환경 중 시민들이 직접 소음데이터를 수집하는 것이 가능함을 확인하였다.^{10,11)} 한 선행연구에서는 NoiseTube 라는 스마트 폰 소음측정 어플리케이션을 이용하여 "이용자들이 직접 생성하는 데이터"인 도시 소음을 수집할 수 있는 잠재력을 확인 하였다.³⁾

2002년에 수행된 유럽의 European Noise Directive (END) 연구의 경우, 도시의 소음측정에 관한 3가지 연구 방법을 수립하였는데, 그 중 한 가지 방법은 시민들의 참여로 인한 소음데이터의 수집이다. GPS 및 geographic information system(GIS) 정보를 활용하여 소음 수준을 모니터링 하고, 인터넷을 통하여 지역별 데이터를 온라인으로 공유하게 된다. 이 연구의 한계

점은 시민집단은 환경측정 전문가 집단이 아니기 때문에 측정 시 발생하는 오류 등 과학적 증거로 제시 하긴 불충분 하다는 의견이 있다. 이는 참여자 교육과 전문가의 지속적인 조언 등으로 개선이 가능하다.¹²⁾

스마트 폰의 마이크를 이용하여 소음을 측정하고 수집된 소음데이터와 GPS 위치데이터를 GIS 프로그램을 통하여 소음지도 작성하는 클라우드소싱 기반의 도시 소음지도를 작성하였다.¹³⁾ 또한 소음측정치 이외에 실행자의 기분상태를 추가로 입력하게 하여, 실제 소음측정치와 사람이 실제로 체감하는 소음 수준을 평가하고, 상세한 장소를 직접 입력하여 공유함으로써 참가자들의 관심과 참여도를 높이기 위한 연구도 수행되었다.¹⁴⁾

2) 스마트폰 내부 센서를 이용한 개인노출평가 기능

스마트 폰의 기술력은 굉장히 빠른 속도로 발전하고 있으며, 그 안에 장착되는 부속기기는 지속적으로 개발되어 증가하고 있다. 그 중 환경보건연구에 활용도가 가장 높은 것이 위치를 알 수 있는 범지구 위치결정 시스템이다. 이런 기능은 현재 대부분의 스마트 폰에 장착이 되어 있고 이러한 기능의 활용이 매우 다양해지고 있다.

스마트 폰 안에 장착된 GPS기능을 통해 사용자의 위치와 이동경로 정보를 중앙데이터 저장소로 업로드 하는 것이 가능하다. 이 때 일정 지역에 들어오면 주의해야 할 건강관련 정보나 환경과 관련된 내용을 전달할 수 있다. 예를 들면 금연구역으로 지정된 위치에 오면 이에 대한 정보를 제공하여 사용자가 이를 지킬 수 있도록 하는 것이다. 이런 GPS기능을 활용한 어플리케이션은 이미 많이 존재하며 상업적으로도 많이 활용되고 있다. 하지만 클라우드소싱 연구의 가장 큰 제한 점이며 관심은 휴대용 센서로 수집된 유용한 데이터를 중앙데이터로 업로드 시 이용자의 개인정보 보호에 관한 문제이다. 왜냐하면 기기의 사용자는 수집된 환경 모니터링 데이터만 제공하길 바라고 다른 정보는 보내지 않기를 원할 가능성이 크기 때문이다.

GPS 이외에도 스마트 폰에는 가속도계와 같은 관성센서가 부착 되어있다. 관성센서는 보행자의 이동을 추측할 수 있는데 다른 장치나 센서 자체 이외에 다른 시스템을 이용하지 않고 이동을 추정할 수 있어서 특히 실내 위치 인식의 중요한 방법으로 이

용되고 있다.¹⁵⁾ 가속도계는 장비의 정확도가 비교적 높고 일상생활 중 피험자의 신체 활동을 특별한 제약 없이 장시간 동안 측정할 수 있다. 가속도계로 측정된 신호는 신진 대사량과 높은 상관관계를 보이며,¹⁶⁾ 신진 대사량의 간접적인 측정은 사람의 움직임 특히 비만과 관련된 연구에 매우 중요한 인자가 된다. 그 밖에 스마트 폰에 부착된 카메라는 조도의 측정에 활용될 수 있다.

Personal Environmental Impact Report(PEIR) 프로젝트의 경우, 스마트 폰의 센서들을 이용하여 환경적 요인에 따른 개인노출을 산출하는 내용의 연구를 수행하였다.¹⁷⁾ 이 연구는 개개인의 스마트 폰과 웹을 통한 기술을 환경보건과 접목시킬 수 있는 가능성을 보여준 예시이다. 스마트 폰의 GPS와 가속도계를 이용하여 시간-장소 정보를 분류하는 모델을 구축하여 평가하고, 개인의 위치, 활동정보를 지도와 환경데이터를 이용하여 노출을 추정하였다. 노출추정 대상 요인은 1) Carbon impact: 스마트 폰 이용자의 교통수단 관련 정보를 수집하여 CO₂ footprint를 작성하고, 이에 따른 온실가스에 대한 기여도를 추정한다. 2) Sensitive site impact: 스마트 폰 이용자의 교통수단 이용에 따른 PM_{2.5} 배출 지역을 추정하여, 학교나 병원과 같은 민감계층이 밀집한 장소에 대한 노출을 추정한다. 3) Smog exposure: PM_{2.5}를 포함한 이동 경로에 따른 교통수단으로부터 발생하는 입자상 물질의 노출을 추정한다. 4) Fast food exposure: Fast food 음식점 근처에 머문 시간을 저장하여 기록하여 준다.

3) 추가 측정기기를 활용한 건강영향의 측정

스마트 폰에 와이파이(WiFi) 기능이 이용되면서 장착된 기능뿐 아니라 추가적으로 부착하여 이용하려는 노력이 가속되고 있다. 예를 들면 환자의 혈압의 측정을 하여 그 자료를 필요한 관련자에게 전송하는 것이 가능해졌다. 환경의 인자를 측정하기 위한 센서의 개발도 진행이 되고 있는데 이미 일부 기체오염물질의 측정 센서가 개발되었고 초미세입자의 측정 센서도 개발단계에 있다.

소형 손가락 감지 센서를 스마트 폰 어플리케이션과 연동시켜 사용자의 심박수를 모니터링 할 수 있는 장치의 개발도 활발히 이루어지고 있으며,¹⁸⁾ 심혈관계질환의 진단 시 가장 널리 사용되는 electrocardiography

(ECG) 값을 모니터링 하는 휴대용 센서를 몸에 부착한 후 스마트 폰을 통하여 측정치를 실시간으로 모니터링 해주는 연구도 활발히 진행되었다.¹⁹⁾ 스마트 폰과 무선센서를 이용한 실시간 건강상태 및 환경측정 모니터링은 위급한 상황을 실시간으로 감지하여 위험에 대비 할 수 있도록 하며, 측정된 데이터의 무선공유로 원거리에서도 전문가들이 데이터 분석 및 결과해석이 가능하다는 장점이 있다.²⁰⁾

3. 정보 전달의 기능

스마트 폰은 연구자뿐만 아니라 시민에게도 자료를 제공할 수 있는 쌍방향 정보전달의 도구가 된다. 특정 조건을 가진 사람에게 필요한 정보를 주기적으로 제공함으로써 교육과 정보의 공유를 통한 행동의 변화와 교정도 이룰 수 있다. 이런 접근 방법은 “mHealth”라는 개념으로 공중보건 전 분야에서 활용되어 왔다. mHealth란 mobile health의 줄임 말로써, 휴대전화와 같은 모바일 장치를 통해 건강, 의료관련 정보를 제공하는 서비스를 총칭한다.²¹⁾ 장기간 치료를 받아야 하는 환자들에게 약물 복용 알림과 부작용에 관한 정보를 문자 메시지로 전달하거나 검진 날짜를 상기 시켜주고, 전염병 등의 질병 정보를 전달해주는 서비스들이 제공되어왔다.²²⁻²⁴⁾

이 개념은 환경보건분야에도 적용이 가능하다. 앞서 결론에 설명되었던 모든 서비스를 통하여 데이터들이 수집되어 최종적으로 제공받는 모든 과정은 웹을 기반으로 진행된다. 이와 함께 스마트 폰 내의 장치활용을 통하여 기존의 mHealth보다 더욱 다양한 정보를 제공할 수 있을 것으로 사료된다.

IV. 결 론

정보통신과 기술의 발달이 보건 및 환경보건학계에 가져다 주는 이점과 잠재력은 무궁무진하다. 환경유해인자로부터의 개인노출평가를 보다 원활하게 할 수 있도록 하며, 환경보건에 관한 빅 데이터 수집할 수 있는 기회를 제공한다. 쌍방향 정보공유와 소통은 양질의 환경보건 서비스 제공에 큰 기여를 할 수 있으며, 정부와 국민 그리고 기업과 국민간의 커뮤니케이션도 보다 원활하게 수행 할 수 있게 한다. 이러한 시스템은 국민의 건강증진과 효과적인

환경모니터링에 큰 역할을 할 것이다. 하지만 시민들의 자발적인 참여를 유도하기 위해서는 정보공유와 결과 도출과정의 투명성을 보장하고, 정보 제공자인 시민들의 개인정보 보호방안을 마련하여야 할 것이다.

감사의 글

이 논문은 2013년 보건복지가족부의 사회서비스 R&D 연구(No. 900-20130073) 재원으로 수행된 연구이다.

References

- Putnam R. Bowling Alone: America's Declining Social Capital. *Journal of Democracy*. 1995; 6(1): 65-78.
- Honicky RJ, Brewer EA, Paulos E, White RM. N-smarts: networked suite of mobile atmospheric real-time sensors. In: Proceedings of the second ACM SIGCOMM workshop on Networked systems for developing regions. New York: ACM Press; 2008.
- Bessis N, Asimakopoulou E, French T, Norrington P, Xhafa F. The Big Picture, from Grids and Clouds to Crowds: A Data Collective Computational Intelligence Case Proposal for Managing Disasters. *IEEE*. 2010; 351-356.
- Paulos E, Honicky RJ, Hooker B. Citizen science: Enabling participatory urbanism. *Handbook of Research on Urban Informatics*. 2008; 414-436.
- Chun SA, Artigas F. Sensors and Crowdsourcing for Environmental Awareness and Emergency Planning. *International Journal of E-Planning Research*. 2012; 1(1): 56-74.
- Ihne E. Karte der Aufblühzeit von *Syringa vulgaris* in Europa. *Botanisches Centralblatt*. 1885.
- Hopp RJ. Plant Phenology Observation Networks. *Phenology and Seasonality Modeling Ecological Studies*. 1974; 8: 25-43.
- Rietjens J, Snik F, Keller CU, Heinsbroek R, van Harten G, Heikamp S, et al. Crowdsourced aerosol measurements using smartphone spectropolarimeters. AGU Fall Meeting Abstracts. 2013.
- Poduri S, Nimkar A, Sukhatme gs. Visibility monitoring using mobile phones. *2010 Annual Report: Center for Embedded Networked Sensing*. 2010; 125-127.
- Maisonneuve N, Stevens M, Niessen ME, Steels L. NoiseTube: Measuring and mapping noise pollution with mobile phones. *Information Technologies in Environmental Engineering*. 2009; 215-228.
- Stevens M, Ochab B. Participatory noise pollution monitoring using mobile phones. *J Inform Polity*. 2010; 15(1-2): 51-71.
- Sotiriadis S, Bessis N, Sant P, Maple C. From Grids to Clouds: A Collective Intelligence Study for Intercooperated Infrastructures. *The Fourth International Conference on Advanced Engineering Computing and Applications in Sciences*. 2010.
- Kanjo E. Noisespy: A real-time mobile phone platform for urban noise monitoring and mapping. *Mobile Networks and Applications*. 2010; 15(4): 562-574.
- Becker M, Caminiti S, Fiorella D, Francis L, Gravino P, Haklay MM, et al. Awareness and learning in participatory noise sensing. *PLoS One*. 2013; 8(12): e81638.
- Chon Y, Cha H. LifeMap: A Smartphone-Based Context Provider for Location-Based Services. *IEEE Computer Society*. 2011; 10(2): 59-67.
- KJ J, Myklebust H, Wik L, Fellows B, Svensson L, Søreboe H, et al. Quality of out-of-hospital cardiopulmonary resuscitation with real time automated feedback: A prospective interventional study. *Resuscitation*. 2006; 71(3) 283-292.
- Mun M, Reddy S, Shilton K, Yau N, Burke J, Estrin D, et al. PEIR, The Personal Environmental Impact Report, as a Platform for Participatory Sensing. Poland: ACM Press; 2009. p55-68.
- Gregoski MJ, Mueller M, Vertegel A, Shaporev A, Jackson BB, Frenzel RM, et al. Development and Validation of a Smartphone Heart Rate Acquisition Application for Health Promotion and Wellness Telehealth Applications. *International Journal of Telemedicine and Applications*. 2012; 7. [Doi: <http://dx.doi.org/10.1155/2012/696324>]
- Oresko JJ, Jin Z, Cheng J, Huang S, Sun Y, Duschl H, et al. A Wearable Smartphone-Based Platform for Real-Time Cardiovascular Disease Detection Via Electrocardiogram Processing. *IEEE Transactions on Information Technology in Biomedicine*. 2010; 14(3): 734-740.
- Leijdekkers P, Gay V. Personal Heart Monitoring and Rehabilitation System using Smart Phones. *Mobile Business*. 2006; 6: 26-27.
- Nkosi MT, Mekuria F. Cloud computing for enhanced mobile health applications. *Cloud Computing Technology and Science*. 2010; 629-633.
- Rudkin SE, Langdorf M, Macias D, Oman JA,

- Kazzi AA, Personal digital assistants change management more often than paper texts and foster patient confidence. *Eur J Emerg Med.* 2006; 13(2): 92-96.
23. Chen Z, Fang L, Chen L, Dai H. Comparison of an SMS text messaging and phone reminder to improve attendance at a health promotion center: a randomized controlled trial. *J Zhejiang Univ Sci B.* 2008; 9(1): 34-38.
24. Liew S, Tong S, Lee VKM, Ng CJ, Leong K, Teng C. Text messaging reminders to reduce non-attendance in chronic disease follow-up: a clinical trial. *Br J Gen Pract.* 2009; 59(569): 916-920.