

원격 약복용 모니터링 시스템 개발[†]

최재훈[○] 임명은 방선리 김대희 박수준

한국전자통신연구원

{jhchoi;melim;slbang;dhkim;psj}@etri.re.kr

A Remote Medication Monitoring System Development

Jae Hun Choi, Myung Eun Lim, Sun Lee Bang, Dae Hee Kim, Soo Jun Park
Electronics and Telecommunications Research Institute(ETRI)

요 약

본 논문에서는 정기적으로 복잡한 약복용이 필요한 고령자 또는 만성질환자의 약복용 준응도를 인터넷을 통해 모니터링 할 수 있는 원격 약복용 모니터링 시스템을 개발하였다. 이 시스템은 사용자의 약복용 상태를 감지하는 스마트 약상자와 원격에서 스마트 약상자를 제어하여 사용자에게 서비스를 제공하는 약복용 서버로 구성되어 있다. 스마트 약상자는 임베디드 시스템으로 개발되었으며, 약복용 서버와 인터넷을 통해 통신한다. 약국 또는 병원에서 웹을 통해 입력된 처방에 따라 이 서버는 약복용 스케줄을 자동으로 생성하며, 이 스케줄에 따라 약상자에게 서비스를 제공한다.

1. 서론

인구의 고령화와 만성질환의 증가로 약을 복용해야 하는 환자들이 급증하고 있다. 건강보험심사평가원 보고서는 '09 건강보험 약품비가 11조 6,546억 원으로 4년 사이에 61.2% 증가한 것으로 발표했다. 또한, 약의 효과 증진과 질병 완화를 위해 환자의 복약에 대한 지속적인 지도 및 모니터링이 필요하다고 보고했다.

세계적으로도 65세 이상의 고령자 5,200명 중 76%가 만성질환 및 질병 치료 등의 목적으로 정기적으로 약을 복용하고 있는 것으로 조사되고 있다. 세계보건기구 WHO(World Health Organization)는 약복용에 대한 부적응이 질병 치료를 실패하게 하거나 오히려 악화시키는 주된 원인으로 지적하고 있다 [1]. 이 부적응의 원인은 복잡한 약복용 스케줄을 환자가 전부 기억할 수 못한다는 것에서 기인하고 있다 [2].

복약에 대한 환자 준응도는 전체 약복용 회수 중 환자가 의사 또는 약사의 복약 지도에 따라 복용한 회수에 대한 비율로 나타낸다 [3]. 현재, 고령자가 약복용 스케줄에 쉽게 준응할 수 있도록 지원하는 연구들이 국외를 중심으로 진행되고 있다.

대부분의 연구는 환자의 약복용 시간 및 방법을 전화나 인터넷을 통해 알려주기 때문에 고령자 및 만성질환자들에게 실제 적용한 결과 준응도가 향상된

것으로 알려졌다 [4]. 이들 중 IT 기술을 융합한 약복용 지원 시스템 역시 개발되고 있다. 이 시스템은 크게 사용자에게 약복용 알림을 제공하는 모듈과 사용자의 약복용을 모니터링 하는 모듈로 구분된다.

먼저, 약복용 알림 모듈은 환자가 일정한 순서대로 약상자에 적재된 약을 정시에 복용할 수 있도록 소리나 음성을 통해 알려준다. 대표적으로 MEMS [4], MMCabinet [5], MedTracker [6] 등이 있다. 이들은 비슷한 기능을 수행하며 단지 약의 적재 방법에 따라 구분된다. 이 방법들은 단순한 알림을 수행하며, 다양한 복약지도가 어렵다는 단점을 가지고 있다.

약복용 모니터링 모듈은 약상자에 적재된 약을 사용자가 언제 복용했는지의 여부를 감지하는 기능을 수행한다. 이 모니터링을 위해 약상자에 감지 센서를 부착한다. 일반적으로 압력 센서가 이용되고 있으나 무게 변화량이 너무 적어 센서의 오차 한계를 현재 기술로는 극복하지 못하고 있다 [7].

MedSignals [8]은 약상자에 개폐 센서를 부착하여 약복용을 인식하고 있지만, 약의 추출 여부를 명확하게 알 수 없다는 문제점을 가지고 있다. 즉, 개폐의 목적이 약 적재, 상태 확인, 사용자 실수 등 다양한 경우가 발생하기 때문이다. 즉, 이 시스템은 약의 배출을 감지하지 못하기 때문에 과-오복용을 방지할 수 없다.

Pillstation [9]은 일회 복용 단위로 약을 용기에

[†] 본 연구는 지식경제부 및 정보통신연구진흥원의 정보통신 연구기반조성사업의 일환으로 수행하였음.[B1100-0801-0019, 차세대 IT 기반 사업화 기반조성]

포장하여 약상자에 순차적으로 적재하여, 사용자가 커버를 개폐하는 순간 약의 적재된 상태를 이미지화하여 관리자 서버에게 전송한다. 관리자는 현재 상태의 이미지를 이전 상태의 이미지와 비교하여 약복용 여부를 판단한다. 이 시스템은 약의 배출 여부에 따라 약복용을 정확하게 인식할 수 있다는 장점을 가진다. 그러나, 약상자에 복잡한 영상 스캐너를 장착해야 하고, 관리자가 이미지를 직접 비교해야 하는 문제점을 가지고 있다. 또한, 과복용을 감지할 수 있으나 실시간 감지가 어렵기 때문에 이를 방지할 수 없다.

이 단점들을 해결하기 위해서는 실시간으로 환자의 약복용 상태를 약상자가 감지하고, 이 감지된 상태를 원격 서버에 전달할 수 있어야 한다. 또한, 약국이나 병원에서 원격으로 처방전을 서버에 입력할 수 있어야 하며, 이 처방전을 통해 환자의 약복용 스케줄을 자동으로 생성할 수 있어야 한다. 본 논문에서는 원격에서 실시간으로 환자의 약복용 상태를 모니터링 할 수 있는 ePROMES(embedded PROgramable MEdication System)를 개발하였다.

2. 시스템 설계

본 논문에서 개발한 원격 약복용 모니터링 시스템 ePROMES은 스마트 약상자, 약복용 서버 그리고 웹 어플리케이션으로 구성되어 있다.



그림 1 시스템 구성도

그림 1은 ePROMES에 대한 시스템 구성도이다. 스마트 약상자에는 사용자가 복용해야 할 약이 봉지

포장 상태로 적재되어 있다. 이때, 약들은 종류에 따라서 다른 컨테이너에 적재된다. 이 약은 사용자의 요구에 따라 배출될 수 있으며, 사용자에 의해 추출된 약은 센서에 의해 감지된다. 이 감지된 상태는 약복용 서버에 전송되며, 서버는 데이터베이스의 해당 스케줄에 대한 복용 상태를 기록한다. 서버에서는 각각의 약복용 스케줄을 탐색하여 약복용 알림이 필요한 환자의 약상자에게 복약지도에 필요한 내용을 전송한다. 또한, 약복용 스케줄은 병원이나 약국에서 웹 어플리케이션을 통해 입력된 처방전에 따라 자동으로 생성된다.

스마트 약상자가 봉지 약을 배출하는 과정은 다음과 같다. 먼저, LED를 통해 지시하는 버튼을 사용자가 누르면, 모터를 구동하여 한 개의 케비닛을 컨테이너로부터 배출한다. 여기서, 약의 배출을 감지하는 센서는 매우 중요한 역할을 수행한다. 즉, 이 센서를 통해 약의 정상적 배출과 배출된 약에 대한 사용자 복용 여부를 확인할 수 있다. 이를 위해 본 논문에서는 SG-2BC 센서를 사용하였다.

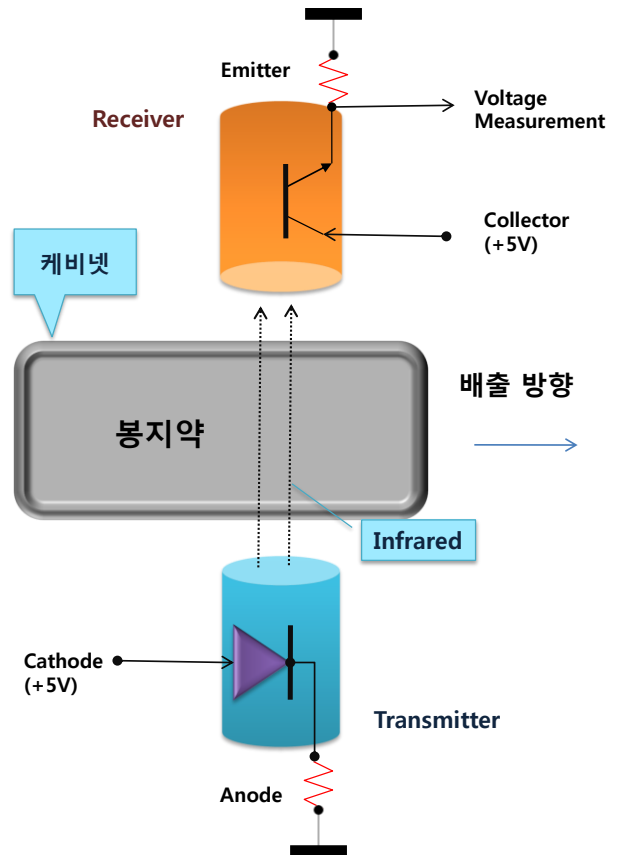


그림 2 감지 센서

그림 2는 스마트 약상자에서 봉지약을 가지고 있는 케비닛을 배출을 감지하기 위한 SG-2BC 센서의 구성

및 시나리오를 나타내고 있다. 이 센서는 적외선 트랜스미터와 리시버로 구성되며, 크기가 작고 성능이 우수하고 반응속도가 빨라 많은 응용에 활용되고 있다.

트랜스미터에서 발신된 적외선은 약을 담고 있는 케비넷이 없는 경우 리시버에 상당부분 전달된다. 반면, 중간에 케비넷이 놓이면 리시버에 극소량만 전달된다. 이때, 리시버에 전달되는 적외선의 양에 따라 감지 전압이 다르게 나타난다. 케비넷이 존재하지 않을 경우 전달되는 양이 많아져 입력 전압에 최대 90%까지 높은 전압이 감지된다. 반면, 케비넷이 존재하는 경우 입력 전압에 10% 이내의 전압이 감지된다.

서버에서는 약상자로부터 입력되는 배출 버튼, 감지 센서 그리고 스케줄 데이터를 통해 사용자의 약복용 상황을 추론한다. 이 추론은 상태-전이 다이어그램을 이용한다. 즉, 발생할 수 있는 모든 상황을 상태로 모델링하고, 주변의 조건의 변화에 따라 하나의 상태에서 다른 상태로의 전이가 발생한다. 상태-전이 모델은 추상화 기법을 통해 개발하기 때문에 상태 추가나 삭제에 대한 유지보수가 매우 단순하다는 장점을 가지고 있다.

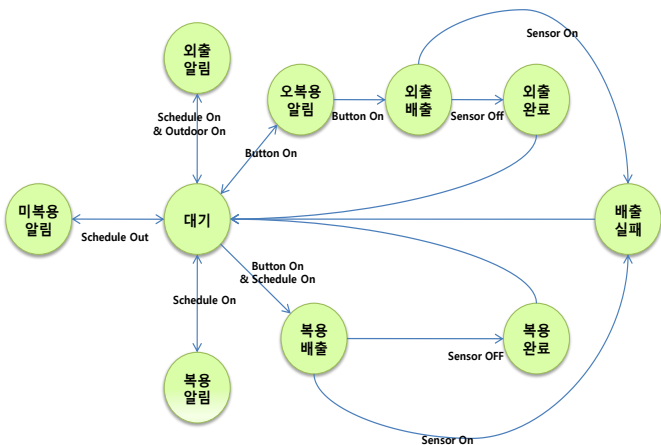


그림 3 상태-전이 모델

그림 3은 스마트 약상자에서 발생할 수 있는 모든 상태들과 외부 입력에 따른 상태 전이를 나타내고 있다. 대표적인 외부 입력으로 배출 버튼, 센서 데이터 그리고 해당 스케줄의 상태 등이 있다. 주요 상태 전이 메소드는 아래와 같다.

- 현재 스케줄 검색(CurrentSchedule): 현재 활성화된 스케줄을 검색한다.
- 외부 이벤트 감지(Button, Sensor): 배출 버튼의 상태와 센서 상태를 감지한다.

- 서비스 스케줄 검색(NextSchedule): 버튼 및 센서 상태에 따라 다음에 서비스할 스케줄을 검색한다.
- 전이 가능한 다음 후보 상태 검색(CandidateState): 다음으로 전이가 가능한 모든 후보 상태들을 검색한다.
- 전이될 상태 결정(DecisionState): 후보 상태들에 대해 우선순위에 따라 순차적으로 전이를 만족하는지 상태를 평가한다.

모든 상태 클래스들은 위와 같은 가상 메소드들을 가지는 최상위 클래스의 하위 클래스로 정의된다. 따라서, 이 가상의 메소드들은 각각 상태 클래스에 적합한 형태로 재정의해야 한다.

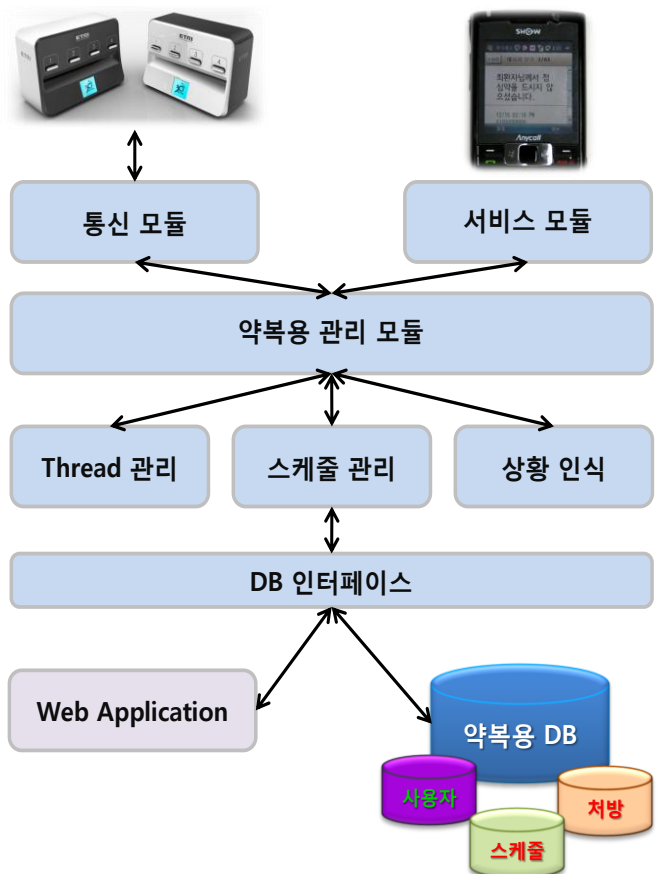


그림 4 서버 구성도

그림 4는 약복용 서버에 대한 구성도이다. 서버는 기본적으로 약상자와 통신을 하며, SMS와 같은 서버에서 수행되는 약복용 서비스를 제공한다. 약복용 관리 모듈에서는 스케줄에 따라 할당되는 쓰레드를 관리하고, 스케줄에 대한 약복용 상황을 인식한다. 이 인식된 상황은 스케줄 데이터와 함께 약상자에 전달된다.

3. 시스템 개발

이 절에서는 2절에서 설계된 약복용 모니터링 시스템 ePROMES의 각각의 주요 항목에 대한 개발 내용에 대해 설명한다. 이 내용은 스마트 약상자, PCB 보드, 약복용 서버 순서로 설명된다.

포장된 약을 배출할 수 있도록 여러 개의 케비넷을 가지고 있다. 각각의 컨테이너에 할당된 버튼을 누르게 되면 해당 케비넷이 배출된다. 센서는 이 배출된 케비넷을 감지한다. 또한, 약상자의 주변 장치들은 약복용 정보들을 서비스하기 위해 사용된다.

예를 들어, 약복용 시간이 되면 스피커와 LCD를 통해 약복용 알림에 대한 음성 및 이미지가 서비스된다. 사용자가 LED로 표시되는 컨테이너의 버튼을 누르면 현재 복용해야 할 약이 자동으로 배출된다. 배출된 약을 사용자가 제거하면 센서가 감지하여 해당 약을 복용할 때 필요한 복용지도 내용이 LCD에 표시된다. 또한, 해당 약의 복용시간이 서버로 전송됨으로써 환자의 약복용 시간이 데이터베이스에 기록된다. 이 기록된 데이터를 통해 약복용 순응률을 평가하게 된다.



그림 5 ePROMES

그림 5는 본 논문에서 개발된 ePROMES에 대한 기본적인 구동 환경이다. 먼저, 스마트 약상자는 유무선 인터넷에 연결된다. 이때, 이 약상자는 고정 및 유동 IP 모두를 사용할 수 있다. 서버와 약상자의 통신을 위해 서버는 특정 IP를 가지고 있어야 하며, 약상자 내부에 이 서버 IP를 설정해주어야 한다.

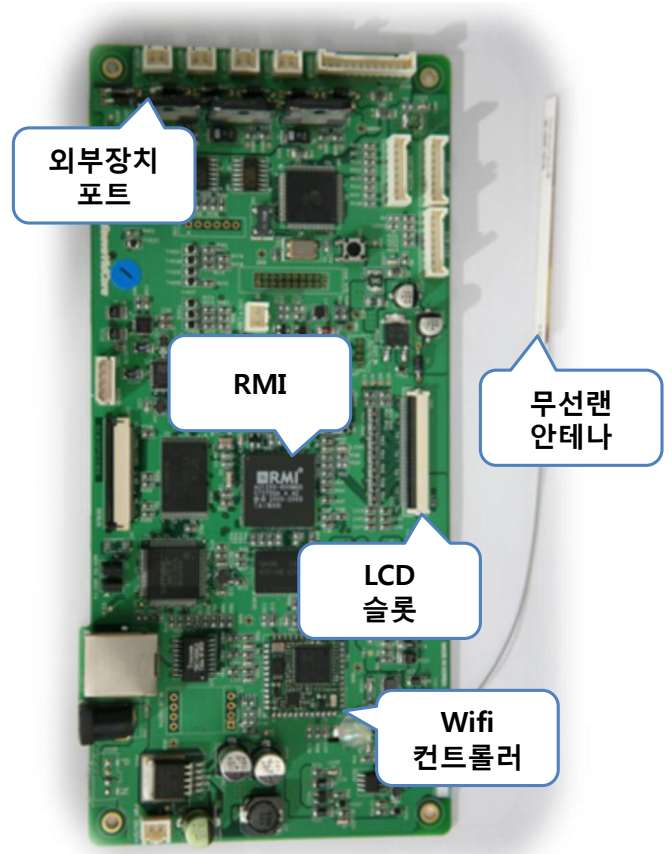


그림 7 스마트 약상자 PCB



그림 6 스마트 약상자

그림 6은 스마트 약상자의 실제 개발된 모습이다. 약을 종류에 따라 구분하여 적재할 수 있도록 여러 개의 컨테이너들로 구성할 수 있다. 컨테이너는 종으로

그림 7은 스마트 약상자에 임베디드된 PCB이다. 이 PCB는 Alchemy의 RMI Au1250 Chipset을 사용하고 있다. 메모리를 위해 Nand Flash 컨트롤러와 DDR2 SDRAM 컨트롤러가 이용된다. 또한, Wifi 통신을 위해 Realteck의 RTL8711S 모듈을 적재하였다. 특히, 무선 통신을 위해 PCB 특성을 고려한 안테나를 제작하여

튜닝하였다. 이 외에도 TFT LCD 컨트롤러, 오디오 컨트롤러, 외부 장치와 통신할 수 있는 디바이스 컨트롤러를 가지고 있다. LINUX 커널 2.6.24과 Boa 웹 서버를 사용하였다.

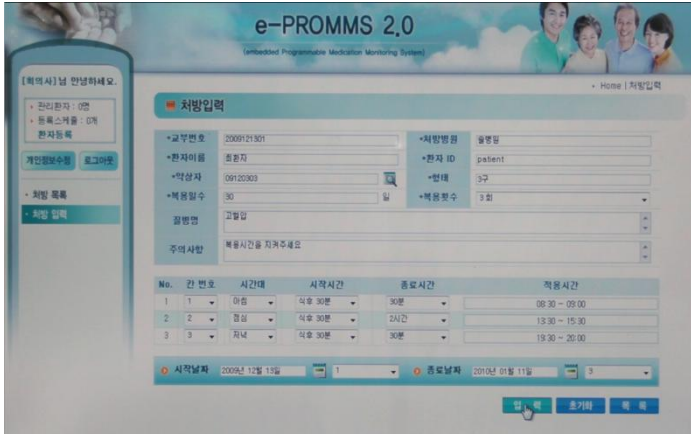


그림 8 처방 등록

그림 8은 웹을 통해 환자의 처방전을 등록할 수 있는 인터페이스이다. 이때, 이 처방은 하나의 약상자와 연동되어 서비스되기 때문에 약상자 식별 정보가 입력되어야 한다. 특히, 약상자 컨테이너들에 적재된 약의 복용시간과 처음 복용해야 할 컨테이너를 지정해준다. 또한, 총 복용 일자, 일별 복용 횟수 및 주의사항을 역시 요구된다.

스케줄에 대한 현재 복용 순응 상태를 4 가지(복용, 미복용, 외출, 예정) 컬러를 통해 구분하였다. 사용자가 외출을 위해 약상자로부터 약을 배출할 수 있으며, 이때 약복용 상태는 "외출"로 정의된다. 외출 상태에 있는 스케줄에 대해 서버는 SMS를 이용하여 환자에게 복약 시간 알림 및 복약 지도 서비스를 수행한다. 또한, 본 시스템은 약복용 순응률을 그림 10과 같이 그래프를 통해서 시각화 할 수도 있다.

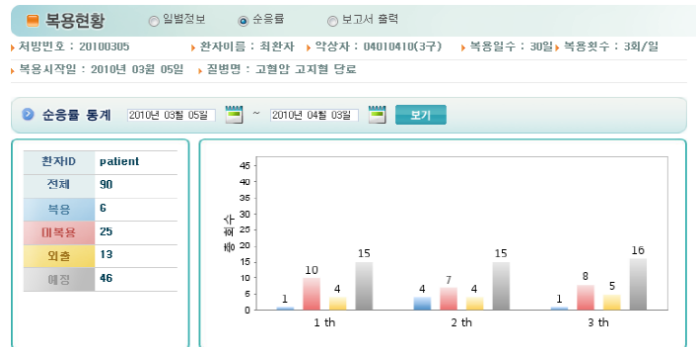


그림 10 약복용 순응률 그래프

4. 결론

본 논문에서는 약을 정기적으로 복용해야 하는 만성질환자들을 위한 약복용 모니터링 시스템을 개발하였다. 이 시스템을 통해 원격에서 처방전을 입력하고 환자의 약복용을 모니터링 할 수 있다. 이 순응률 모니터링은 향후 환자에 대한 질병 치료에 대한 매우 유용한 자료로 활용될 수 있다. 또한, 환자가 임베디드 스마트 약상자를 통해 다양한 약복용 서비스를 제공받을 수 있기 때문에 환자에 대한 약복용 순응률을 현격하게 높일 수 있다. 향후 과제에서는 임상 실험을 통해 이 시스템이 환자의 약복용 순응률을 얼마나 향상시킬 수 있는지 정확하게 평가할 필요가 있다.

참고문헌

[1] WHO, "Adherence to Long-term Therapies: Evidence for Action," Geneva: WHO, 2003.
 [2] J. Lundell and et al., "Why Elders Forget to Take Their Meds," Smart Homes and Beyond, pp.98-105, 2006.
 [3] Alan Naditz, "Medication Compliance—Helping

그림 9 약복용 스케줄 및 현황

그림 9는 입력된 처방에 따라 자동 생성된 일별 약복용 상세 스케줄을 나타내고 있다. 특정 스케줄을 사용자가 필요에 따라 수정할 수 있다. 또한, 각각의

Patients Through Technology: Modern “Smart” Pillboxes Keep Memory-Short Patients on Their Medical Regimen,” *Telemedicine and e-Health*, Vol. 14, Issue 9, 2008.

- [4] 성지동 외 12명, “Medication Event Monitoring System을 이용한 한국 고혈압 환자의 약물 치료 순응도 연구,” *The Korean Society of Circulation*, Vol. 35, pp. 821-826, 2005.
- [5] K. Doughty and et al., “TEMPEST—an Intelligent Pill Reminder and Delivery System for Telecare Applications,” *Engineering in Medicine and Biology Society*, Vol. 3, pp. 1206 – 1209, 1998.
- [6] Dadong Wan, “Magic Medicine Cabinet: A Situated Portal for Consumer Healthcare,” *1th International Symposium on Handheld and Ubiquitous Computing*, pp.352-355, 1999.
- [7] T. L. Hayes and et al. “An Electronic Pillbox for Continuous Monitoring of Medication Adherence,” *27th International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society*, 2006.
- [8] MedSignals, <https://www.medsignals.com/>.
- [9] SentiCare, <http://pillstation.com/>.