

EasyCare : 심계질환자 관리를 위한 에이전트 기반의 u-헬스케어 시스템*

조현주** · 김상철***

EasyCare : An Agent-based u-Healthcare System for Managing Patients with Heart Diseases*

Hyun Joo Cho** · Sangchul Kim***

■ Abstract ■

Due to the growth of economy and the advancement of IT, the life expectancy has been prolonged and the interests in health have greatly increased. Recently the request for systems that enable measuring the bio-signals of patients in the non medical organizations, such as home, and transmitting them to medical staffs at remote sites for monitoring them. In this paper, we present an agent-based u-health system for patients or suspects with heart diseases. Our system consists of portable devices for measuring bio-signals and agents that perform data collection, data storage, automatic detection of abnormal status in patients, and HL7-based data exchange in a cooperative way. The main features of the system are : the agent-based architecture facilitates the addition of new service modules as well as the modification of existing ones; an intelligent agent is provided which automatically detects situations in which the bio-signals of patients are abnormal; the medical data standard is supported so that the communication with other systems is very easy. To our survey, there have been few previous systems which support all those features in a seamless way.

Keyword : Agent, u-Healthcare, Monitoring, Patient Care, Zigbee

논문투고일 : 2011년 01월 22일 논문수정완료일 : 2011년 02월 28일 논문게재확정일 : 2011년 03월 10일

* 본 논문은 2009년 중소기업청 지원 사업의 결과를 기반으로, 2010년 한국외국어대학교 교내연구비 지원에 의한 것임.

** 한국외국어대학교 컴퓨터공학과 석사과정

*** 한국외국어대학교 컴퓨터공학과 교수

1. 서 론

경제발전과 의료기술의 발전으로 사람들의 평균 수명이 늘어나고, 노인인구의 비중이 높아가고 있다. 사람들은 건강에 대한 관심이 높아지면서, 병이 나서 병원을 찾는 것보다 평소시의 건강관리로 병이 발병하거나 악화되는 것을 예방하는 의료서비스에 대한 수요가 급증하고 있다. 이런 이유에서, 최근 정보통신 기술을 이용한 u-헬스케어 서비스에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다. 본 논문에서 u-헬스케어란 사용자가 어느 장소에서나 자신의 건강상태를 알리는 생체 신호를 측정하여 휴대형 장치에 저장하거나 무선통신망을 통하여 원격지의 서버에 저장하고, 필요시 의료전문가의 소견 및 조치 사항을 전달받을 수 있는 의료서비스를 말한다.

심장 이상은 생명과 직결될 뿐만이 아니라, 대부분 고령자는 심계 기능에 약하여 세심한 관찰과 이상 현상의 감지시 즉각적인 전문 의료인의 조치가 필요하다. 참고로, 의료 통계에 따르면 돌연사의 이유 중 심장관련 질환이 3번째를 차지하고 있다.

u-헬스케어 기술은 현재 완성 단계가 아니라 응용 분야별로 다양한 서비스를 위한 기반 기술들이 개발되고 있는 중이다. 따라서 추후에 심계 질환자를 위한 새로운 생체 데이터 분석기와 같은 서비스 모듈이 본 시스템에 추가되거나 또는 기존 서비스 모듈을 수정해야하는 경우가 자주 발생할 수 있다.

이상의 이유에서, 최근 급증하는 심계질환자들의 이상 상태를 신속하게 자동 감지하는 기능, 새로운 u-헬스케어 기술을 쉽게 추가할 수 있는 기능, 환자의 진료기관 변경시 발생하는 의료 정보 교환을 최신 의료 정보 표준안[6]에 따라 수행하는 기능을 지원하는 실계질환자용 u-헬스케어 시스템이 필요하다. 우리의 조사에 의하면, 이를 종합적으로 지원하는 시스템은 아직 발표되지 않고 있다.

본 논문에서 우리는 심계 질환자나 또는 의심환자를 위한 u-헬스케어 시스템(EasyCare라 부름)을 제안한다. 본 시스템의 주된 기능은 주요 심계

생체 신호인 ECG(심전도) 및 PPG(광혈류량)을 측정하여 병원으로 전송하면, 환자의 상태를 실시간으로 감시하는 것이다. 본 시스템의 주된 특징들 중 하나는 블랙보드(blackboard) 및 에이전트(agent) 기반의 시스템 구조이다. 에이전트란 자신의 업무를 자율적으로 수행하는 프로세스이고 블랙보드는 에이전트들 간의 자료 공유를 위한 버퍼 같은 역할을 수행하는 객체이다. 새로운 u-헬스케어 서비스 모듈을 추가할 경우, 블랙보드와 에이전트 기반의 구조에서는 해당 서비스를 새로운 에이전트로 모델링하여 구현함으로써 본 시스템의 기존 코드의 수정을 최소화할 수 있다.

본 시스템의 또 다른 주요 특징은 환자의 생체 신호의 이상 상태를 실시간에 감지하여 이상 상황을 담당자에게 알리는 지능형 에이전트를 제공하는 것이다. 심계 질환자의 경우, 생체 신호가 이상한 형태를 보인다면 즉각적으로 담당의료 전문인에게 이 사실을 알려서 필요한 조치를 취할 수 있어야 한다. 특히, 담당자가 관리하는 환자의 수가 많은 경우 실시간 데이터에서 이상 여부를 수작업으로 판단하는 것은 거의 불가능하다. 따라서 본 시스템에서와 같이 환자의 생체 데이터의 이상 상태를 실시간에 자동 감지하는 지능형 서비스가 필요하다.

최근 의료정보시스템들 간의 원활한 연동을 위하여 의료 데이터 교환 표준인 HL7[6]이 정의되었다. 본 시스템은 타 의료기관과의 자료 공유를 손쉽게 하도록 HL7을 지원한다. 이런 특징은 환자가 여러 의료 기관들을 거치면서 진료 받게 될 때, 이들 기관들 간의 환자 데이터 이전을 온라인으로 빨리 처리함으로써 환자의 편의를 높이게 될 것이다.

기존 연구에서, 환자가 직접 측정한 생체 신호를 통하여 건강 상태를 모니터링 할 수 있는 u-헬스케어 시스템들이 다수 발표되었다[14, 15]. [15]에서는 가정에서 측정한 당뇨병 환자의 생체 신호를 인터넷을 통하여 병원에 설치된 전문가 시스템에게 전달하고, 환자에게 적절한 진단을 내리는 헬스케어 시스템을 제안하였다. [14]에서는 가정에

서 모바일 단말기를 이용하여 심전도 등의 각종 생체 데이터를 측정해서 무선으로 중계센터로 보내고, 중계 센터는 이동통신망으로서 원격지의 의료정보시스템에 전달하는 시스템을 제안하였다.

에이전트 기술을 도입한 헬스케어 시스템에 대한 연구도 지금까지 다수 발표되었다. 초기 시스템에서는 에이전트가 환자 예약, 응급조치 수행, 병원 업무 프로세스들 간의 조율 등과 같은 병원 업무를 자동으로 처리하는 역할을 수행하였다. 예를 들면, [8]에서는 이론증명(theorem proving) 엔진 기반의 다중 에이전트들을 이용하여 불완전하고 불일치하는 데이터로부터 필요한 임상 작업들을 적절한 순서로 진행시키는 방법을 발표하였다. [5, 13]에서는 자원 배분과 임상 프로세스 스케줄링을 처리하는 에이전트 프레임워크를 제안하였다. [11]에서는 정신적 외상을 받은 환자의 진단과 담당 의료인들에게 조언을 해주는 전문가 시스템이 제안되었다. [12]는 병원간의 장기이식 업무 조율, 환자 스케줄링, 노인환자 돌보기 등의 업무를 지원하는 에이전트 시스템을 발표하였다. [9]는 만성 질환 관리를 위한 메디컬 센터의 교육, 감시를 도와주는 지능형 시스템을 제안하였다. [4]에서는 병원의 응급실에서의 환자의 대기시간을 최소화하도록 진료 프로세스를 스케줄링하는 에이전트 시스템을 발표하였다.

최근 개발된 u-헬스케어 시스템에서는 에이전트 기술을 도입하여 지능화된 서비스를 제공하고 있다. [10]에서는 가정에서 측정한 당뇨 및 울혈성 심부전 환자의 생체 신호를 인터넷이나 무선통신 단말기를 통하여 의료관린센터에 전송하고, 전송된 데이터를 감시하면서 이상 상황을 감지하는 에이전트 시스템을 제안하였다. [3]에서는 환자의 스마트폰에서 동작하면서 생체 신호를 모니터링 하는 에이전트를 제안하였는데, 이 에이전트는 환자의 생체 데이터를 규칙적으로 의사의 휴대폰에 알리게 된다.

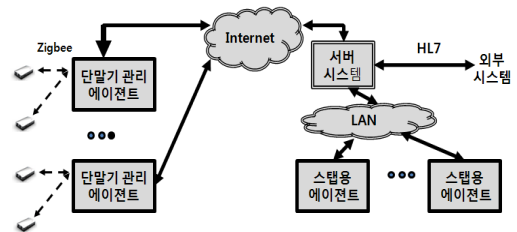
앞에서 언급한 기존 연구에서 보다시피, 심계질환자 전용으로서 환자 이상 상태의 자동 감지

기능과 에이전트 기반의 높은 시스템 확장성을 동시에 지원하는 u-헬스케어 시스템은 거의 발표되지 않았다. 또한, 에이전트 구조 하에서 의료 데이터 교환 표준안인 HL7을 지원하는 u-헬스케어 시스템에 대한 연구도 거의 발표되지 않았다.

본 논문의 구조는 다음과 같다. 제 2장은 EasyCare 시스템의 전체 구조를 기술하고, 제 3장, 제 4장 및 제 5장은 시스템의 주요 부분들을 각각 설명한다. 제 6장은 구현 및 실험을 기술하고, 제 7장으로 결론을 맺는다.

2. 시스템의 전체 구조

EasyCare 시스템은 [그림 1]과 같이 크게 4개의 부분으로 구성되어 있다: 휴대형 단말기, 단말기 관리용 에이전트, 서버 시스템 및 스태프용 에이전트.



[그림 1] 전체 시스템의 구성

휴대형 단말기는 사용자가 원하는 시간에 본인의 현 위치에서 심전도 및 광혈류량을 측정하고, 측정된 신호를 무선통신망을 통하여 단말기관리 에이전트에 전송하는 역할을 제공한다. 휴대형 단말기에는 USB 인터페이스도 제공되는데, 이것은 환자의 위치가 단말기관리 에이전트가 운영 중인 PC와 가까운 경우 생체 신호를 해당 PC에게 USB 케이블을 통하여 전송할 수 있도록 함으로써, 전송 시 소요되는 전력을 최소화하여 휴대형 단말기의 배터리의 수명을 늘릴 수 있도록 하였다. 차후, 환자가 실내든 실외든 본인이 원하는 임의의 장소에서 생체 신호를 전송할 수 있는 스마트폰용 어플을

개발할 예정이다.

단말기관리 에이전트는 측정된 생체 신호를 인터넷을 통하여 의료기관에서 동작중인 서버 시스템에 전송하게 된다. 서버 시스템은 생체데이터 저장, 환자 상태의 모니터링, 타 기관의 의료정보시스템과의 자료교환을 수행한다.

스텝 에이전트의 사용자는 간호사이나 전문의와 같은 의료 담당자이다. 기본적인 기능은 서버 시스템과 통신하면서, 사용자가 서버 데이터베이스의 내용을 조회, 검색 및 수정하거나 담당자의 소견이나 환자에게 전달사항을 입력하는 사용자 인터페이스를 제공한다. 또한, EM 모니터가 감지한 이상 상황을 나타내는 이벤트를 수신하여, 팝업 창을 통하여 사용자에게 알리는 역할을 수행한다.

3. 단말기측 시스템의 구조 및 동작원리

3.1 심계 생체 신호 측정용 휴대용 단말기

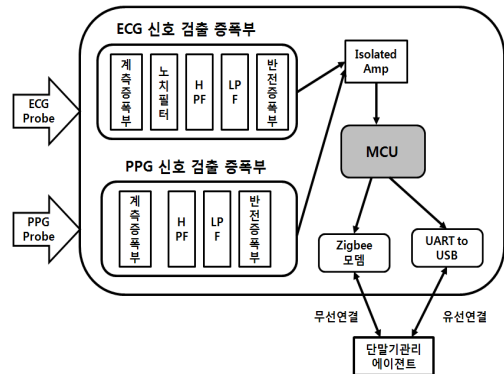
단말기측 시스템은 휴대형 단말기와 단말기관리 에이전트로 구성된다. 현재 휴대형 단말기에는 Zigbee 모뎀이 탑재되어 Zigbee 무선망으로 단말기관리 에이전트와 통신한다. Zigbee 통신을 채택한 이유는 EasyCare에서는 단말기 사용자가 가정, 헬스센터, 요양원등과 같은 장소에서 일상 활동 중에 심계 생체 신호를 측정하는 것을 목적으로 두고 있기 때문이다. Zigbee 통신은 Wi-Fi에 비하여 전력소모량이 현저히 낮아 휴대형 단말기에 적합하고, 블루투스에 비하여 통신거리가 길면서 1대 다 통신을 지원하여 최대 256대 모뎀이 동시에 단말기관리 에이전트에게 데이터를 전송할 수 있는 장점이 있다.

본 단말기[2]는 심전도 측정을 위해, 양손 끝을 단말기 외부에 노출된 전극을 접촉하는 방식과 패드형 케이블 전극을 이용하는 두 가지 방식을 지원한다. 이것은 본 단말기와 기존 휴대형 심전도 측정 단말기와의 차이점 중 하나이다. 노출 전극 방식은 신호 측정이 반면에 신호의 정확성이 낮고,

케이블 전극 방식은 사용상 번거로운 면은 있지만 신호의 정확성이 높다. 광혈류량 측정 시에는 집게형 케이블 전극을 사용한다. 심전도와 광혈류량 측정시 사용되는 케이블 전극의 유형이 다른 이유는 생체 신호들 간의 특성이 다르기 때문이다[2]. [그림 2](a)는 우리의 휴대형 단말기의 외관을 보여준다.



(a) 외관



(b) 구성 회로

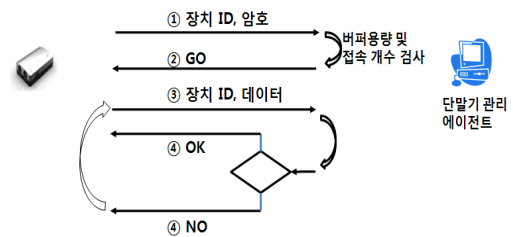
[그림 2] 단말기 외형 및 구조

[그림 2](b)에서와 같이, 휴대형 단말기는 MCU, 필터 및 앰프 회로, USB 인터페이스 회로 및 Zigbee 모뎀으로 구성된다. MCU는 3.3V의 저전력으로 동작하고, 플래시 메모리, EEPROM 및 RAM을 내장하고 있다. 휴대형 단말기에서 외부 메모리를 가지고 있지 않는 것은 단말기의 제조 단가를 낮추는 동시에 전력 소모량을 최소화하기 위함이다. 단말기의 펌웨어는 MCU의 내장 메모리에 설치되어 동작한다. 단말기 관리 에이전트가 다운되어 있거나 또는 외출 중에 단말기를 사용하는 경우를 위해서, 측정된 생체 신호를 단말기내 플래시 메모리에 저장하는 기능도 제공한다.

신호검출부등의 아날로그 회로는 MCU 기반의 주 회로와 독립된 전원을 가도록 설계되어 있고, 생체 신호의 전압 범위인 0.1V대를 측정하기 위하여 미세한 전압 신호를 차동증폭과 반전증폭회로를 이용하여 증폭하였다. 측정된 신호는 상당한 잡음을 내재하고 있으며 이를 해결하기 위하여 필터를 사용하여 잡음을 제거한다. 심전도 신호의 경우, 0.5Hz의 차단 주파수를 가지는 고주파필터와 35Hz의 차단 주파수를 가지는 저주파 필터를 사용한다. 광혈류량의 경우, 입력된 신호를 0.15Hz의 차단 주파수를 가지는 고주파필터와 4.8Hz의 차단주파수를 가지는 저주파필터를 사용한다. 잡음이 제거된 생체 신호는 MCU의 ADC 채널에 입력되는데 MCU는 이를 230샘플/초로 신호를 취득한다.

우리의 단말기는 한 개의 채널 신호만을 측정하지만, 심전도 측정용 리드를 대는 부위를 변경함으로써, I, II, III 채널 신호를 차례로 얻을 수 있다.

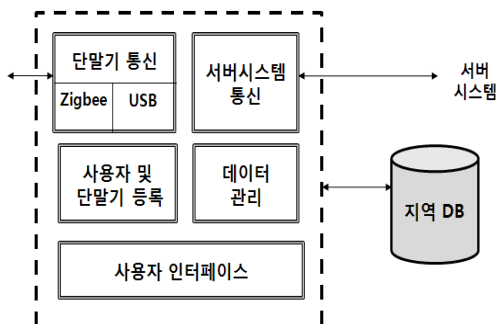
사용자 및 단말기 등록 모듈은 사용자 및 단말기 등록을 위한 기능을 제공한다. 이 모듈을 통하여, 새로운 단말기 사용자를 등록하거나 기존 사용자의 인적 정보를 변경할 수 있고, 새로운 단말기를 등록하거나 단말기의 환경 변수를 설정할 수 있다. 단말기 환경변수란 단말기 정보 중에서 생체 데이터 측정과 전송에 영향을 미치는 변수들로서, 데이터 샘플링 주기와 ID를 포함한다.



[그림 4] 단말기와 단말기 관리 에이전트 간의 생체 신호 수신 프로토콜

3.2 단말기 관리 에이전트

단말기 관리 에이전트는 [그림 3]과 같이 크게 6개의 모듈로 구성되어 있다. 단말기 통신 모듈은 이름과 그대로 휴대형 단말기와 통신하면서, 심계생체 신호를 전송받아 데이터 관리 시스템에 넘기는 역할을 수행한다. 서버시스템 통신 모듈은 수신된 생체 신호를 실시간으로 서버 시스템에 전송하거나 서버 시스템으로 도착하는 데이터 검색을 위한 질의어를 처리해 주는 역할을 담당한다.



[그림 3] 단말기 관리 에이전트의 구조

데이터 관리 모듈은 수신된 단말기 사용자의 생체 신호를 지역 데이터베이스에 입력하고, 검색 및 수정하는 기능을 제공한다. 환자 또는 단말기측 시스템 관리자는 사용자 인터페이스를 통해서 전문의 소견의 조회하고, 사용자의 담당의에 대한 요구를 입력할 수 있다. 지역 데이터베이스는 단말기 사용자 정보, 단말기 환경변수, 생체신호 및 서버 시스템이 보내온 각종 정보를 저장한다.

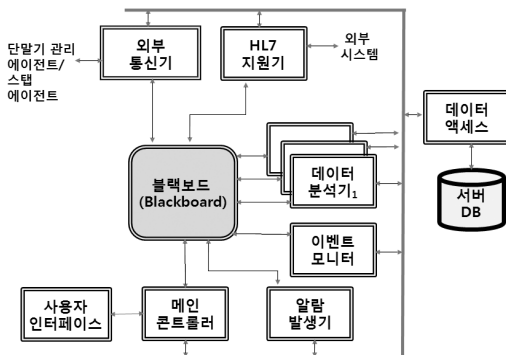
단말기 통신 모듈은 동시에 여러 대의 단말기로부터 생체 신호를 동시에 수신할 수 있다. [그림 4]는 단말기와 단말기 관리 에이전트 간의 생체 신호 수신 프로토콜을 보여준다. [그림 4]에서 같이, 단말기가 생체 데이터 전송을 하기 직전에 자신의 단말기 ID와 암호를 보내게 된다. 단말기 ID와 암호가 유효하고, 단말기 통신 모듈내 수신 버퍼의 여유 공간이 충분하면서 최대 동시 접속자 수를 넘지 않게 되면, 'GO' 메시지를 단말기에 보낸다. 'GO' 메시지를 받은 단말기는 생체 신호를 보내기 시작한다. 사용하는 Zigbee 모뎀의 동시 송수신 처리 능력과 단말기 관리 에이전트가 동작하는 컴퓨터

의 처리 능력을 감안하여, 단말기측 시스템 관리자는 무선 데이터 수신 및 처리 과정에서 데이터 에러가 발생되지 않지 않는 선에서 최대 동시 접속자 수를 결정할 수 있다. 단말기에게 'OK' 메시지를 전송하면 단말기는 신호 전송을 멈추게 된다. OK 신호를 이용하여 단말기로부터 전송되는 생체 신호의 분량을 제어하게 한다. 만약 일정 시간동안 정해진 분량의 신호가 도착하지 않으면, 'NO' 신호를 보내게 된다. 신호 측정의 시작 시점이나 마무리 시점에서는 일반적으로 환자의 작은 움직임이 발생하여 원 신호에 잡음이 발생할 가능성이 높다. 따라서 수신된 전체 신호 중 일정 분량의 앞부분과 끝부분은 제거한 후 사용한다.

4. 서버 시스템의 구조 및 동작원리

4.1 블랙보드 및 에이전트 기반의 구조

서버 시스템은 전문 의료 기관에서 설치되어 동작하게 되는데, 주된 역할은 심계 생체 신호를 포함한 환자의 제반 정보를 보관하고 외부 시스템들과 교환하며, 생체 신호를 분석하는 것이다. 그림 5는 서버 시스템의 구조를 보여 준다.



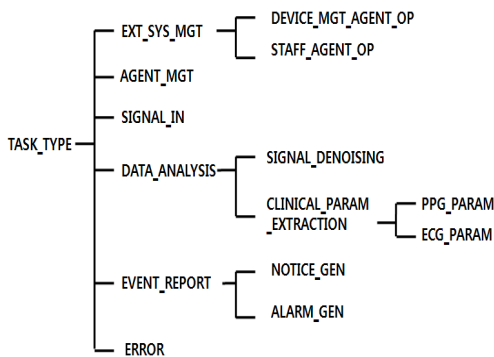
[그림 5] 서버 시스템의 에이전트 구조

서버 시스템은 여러 개의 에이전트들로 구성되어 있으며, 이들은 블랙보드를 통한 정보 교환을 바탕으로 서로 협동해 가면서 다음과 같은 각자의

역할을 수행한다.

- 블랙보드 : 에이전트들 간의 자료교환을 담당하는 버퍼이다. 어떤 에이전트 A가 다른 에이전트의 도움을 받아 해결하고자 하는 문제가 있는 경우, 에이전트 A는 해당 문제를 표현한 태스크(task) 객체를 만들어 블랙보드에 포스팅(posting)한다. 블랙보드는 해당 태스크를 처리할 수 있는 에이전트에게 알려 해당 문제를 해결하도록 한다.
- 메인컨트롤러 : 서버 시스템의 전반적인 동작을 제어하는 역할을 수행하는 에이전트다. 시스템을 초기화하고, 에이전트의 시작, 종료, 상태 감시등의 업무를 수행한다.
- 데이터분석기 : 데이터 분석기 에이전트들은 생체 신호를 가공, 해석, 분석하는 일을 담당한다. 현재 본 시스템에서는 심전도 및 광혈류량 신호의 잡음제거, 심전도 및 광혈류량 파형의 특징점 추출, 심전도 및 광혈류량 관련 임상 파라미터 추출을 수행하는 에이전트들이 설치되어 있다. 국내외적으로 새로운 u-헬스케어 기술이 지속적으로 개발 중인 점과 조만간 u-헬스케어 서비스 수요가 본격화될 조짐을 감안하면, 데이터 분석에 대한 사용자들의 추가적인 요구가 발생할 가능성이 높다. 이런 경우, 해당 요구를 처리하는 별도의 에이전트를 구현하여 본 시스템에 추가하면 되기 때문에, 시스템의 다른 부분의 코드에 영향을 최소화 할 수 있는 장점이 있다.
- 이벤트모니터(EM : Event Monitor) : 휴대형 단말기에서 전달되어 오는 생체 신호를 모니터링함으로써 환자의 상태를 실시간으로 감시하고, 미리 정해진 이상 상태가 감지되면 이를 의료 담당자에게 알리는 보고 이벤트를 발생시키는 에이전트이다. 이런 보고 이벤트는 중요도에 따라 알람발생기에 의해서 문자메시지로 전달되거나, 외부 통신기를 통해서 의료 담당자를 위한 스탭프 에이전트에게 전달된다.

- 알람발생기 : 보고 이벤트가 환자의 상태가 즉각적인 조치를 필요로 하는 것인 경우, 알람발생기 에이전트는 해당 사실을 의료 담당자의 휴대폰에 문자 메시지로 보낸다. 이를 위하여 서버 컴퓨터에는 CDMA 모듈이 설치되어 있다. CDMA 통신망을 사용하는 이유는 의료 담당자의 위치와 거리에 구애받지 않고 중요한 이벤트를 알릴 수 있기 때문이다.
- 외부 통신기 : 서버 시스템 밖의 에이전트들과 서버 시스템 내의 에이전트들 간의 자료 교환을 주로 담당한다. 예를 들면, 단말기 관리 에이전트에서 실시간으로 전달되어 오는 생체 신호를 블랙보드에 포스팅하여 다른 에이전트들에게 알리는 역할을 수행하고, 동시에 서버 데이터베이스에 저장하는 업무를 수행한다.
- HL7 지원기 : 앞에서 HL7은 의료정보시스템간의 정보교환 표준안이다[6]. 서버 데이터베이스의 환자 관리 정보 및 생체 신호 데이터를 HL7을 지원하는 외부 정보 시스템과 교환하는 기능을 제공한다.



[그림 6] 태스크 타입

4.2 에이전트 동작의 제어

서버 시스템을 구성하는 각 에이전트는 ID, 우선 순위, 자신이 처리 가능한 태스크의 타입, 입력 파라미터 명세, 출력 파라미터 명세와 같은 제어 정보를 가진다. 에이전트는 기본적으로 독립적으로

동작하면서, 다른 에이전트의 도움이 필요한 업무가 있는 경우 해당 업무에 대한 요구를 태스크 객체로 만들게 된다. 여기서 태스크는 개념적으로 일반 에이전트 구조에서의 목표(goal)에 해당된다.

[그림 6]은 우리 시스템에서 사용하는 태스크 타입들과 그들 간의 계층구조이다. 에이전트는 이 태스크타입들 중 하나를 처리하는 능력을 가지게 된다. EXT_SYS_MGT는 단말기 관리 에이전트 및 스태프용 에이전트의 상태를 파악하거나 각종 제어 데이터를 보내고 받는 용도에 사용되고, AGENT_MGT는 각종 에이전트의 상태 파악, 동작변수 설정, 제어 명령어 전달에 사용된다. SIGNAL_IN은 단말기로부터 새로운 생체데이터가 도착하면, 그 사실을 알리는 용도로 사용된다. DATA_ANALYSIS는 신호의 잡음 제거나 각종 임상 파라미터 추출에 사용된다. 현재 심전도 관련 파라미터로는 RR, QT, QTc, PR 등이 있고, 광혈류량 관련 파라미터로는 신호세기, 피크간의 간격 등이 있고, 기타 파라미터로 혈압이 있다. EVENT_REPORT는 환자의 생체 신호에서 이상 상태가 감지됨을 알리는 용도로 사용한다. 긴급하게 의료 담당자에게 보고해야 할 경우에는 ALARM_GEN 타입 태스크 객체가 만들어지고, 아니면 NOTICE_GEN 타입 태스크 객체가 만들어진다. 모든 에이전트들은 시작되면 블랙보드 에이전트에 자신의 정보를 등록한다.

TASK_TYPE
RECEIVER
OPT
P_LIST
O_LIST
CREATOR
TIME_STAMP
STATUS

[그림 7] 태스크 양식

블랙보드에 포스팅되는 태스크 객체는 그림 7과 같이 여러 필드로 구성된다. TASK_TYPE은 태스

크의 타입을 나타내고, [그림 6]에서 나타난 타입들 중 하나이다. RECEIVER는 TASK 객체를 처리할 에이전트 이름을 명시하는 곳인데, 만약 특정 에이전트 이름이 명시되어 있지 않다면, 블랙보드 에이전트가 TASK 객체의 TASK_TYPE을 처리할 수 있는 에이전트를 선택한다. 만약 그런 에이전트들이 복수로 존재하면, 블랙보드 에이전트는 OPT의 값에 따라 선택한다. 만약 OPT의 값이 ONE인 경우 우선순위가 가장 높은 에이전트가 선택되고, OPT의 값이 ALL인 경우 TASK_TYPE을 지원하는 모든 에이전트가 선택된다.

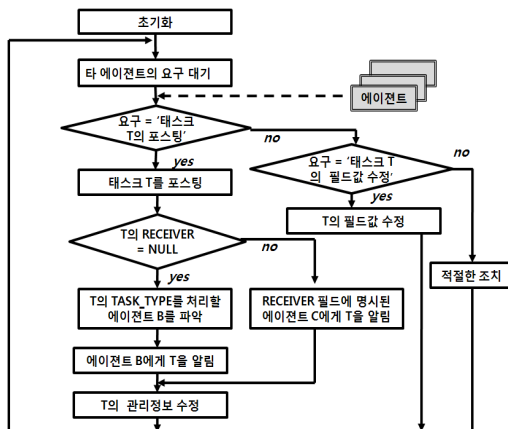
P_LIST는 TASK 객체의 처리에 필요한 입력 파라미터들을 명시한다. 입력이 필요한 TASK 객체의 경우, 입력 파라미터는 '파라미터이름 = 값' 형태의 구문이 한 개 이상으로 구성되고 이들 식들은 콤마(,)로 구분한다. 예를 들면, 'drID = tom, patientID = judy'는 의료 담당자 ID는 'tom'이고 환자 ID는 judy를 나타낸다. O_LIST는 TASK 처리 후의 결과를 보관하는 곳으로서, 형식은 P_LIST와 유사하다. CREATOR는 해당 TASK 객체를 포스팅한 에이전트를 지칭하고, TIME_STAMP는 TASK 객체의 생성 시각을 나타낸다. STATUS는 초기에는 READY로 설정되고, RECEIVER 에이전트가 해당 TASK의 처리를 완료한 후 DONE으로 바뀌게 된다.

본 서버 시스템의 전반적인 동작은 [그림 8]에 나타난 블랙보드 에이전트의 동작을 보면 쉽게 이해가 된다. 블랙보드 에이전트는 기본적으로 타 에이전트들의 요구를 받아 처리하는 작업을 반복한다. 수신한 요구가 새로운 TASK 객체의 포스팅이라면, 해당 객체를 공통 버퍼에 포스팅한다. 그런 후, RECEIVER 필드 값에 맞추어 적절한 에이전트를 선택하여 그 TASK 객체의 존재를 알린다. 타 에이전트의 요구는 TASK 포스팅 외에 기존 TASK 객체의 필드값 수정이나 블랙보드 상태의 조회 등이 있을 수 있다.

4.3 실시간 생체 신호 모니터링

수십 또는 수백의 환자들로부터 생체 신호가 매 시간 도착하게 되면, 의료 담당자의 수작업으로는 즉각적인 생체 신호의 해석이 어렵다. 따라서 EM 에이전트는 환자의 생체 신호가 의료담당자의 신속한 주의가 필요한 상황임을 실시간에 파악하는 기능을 제공한다.

현재 EM 에이전트에서 의료 담당자의 주의가 필요하다고 판단하는 상황은 <표 1>에 정리되어 있다. <표 1>의 4번째 상태는 생체 신호를 주기적으로 측정해서 관찰하기로 정한 환자로부터 관련 신호 데이터가 일정대로 도착하지 않는 경우를 나타낸다. 이것은 일반적으로 환자가 전문의 지시를 성실히 따르지 않거나, 노약자에게 신체적으로 어려운 상황이 발생했거나 또는 측정 단말기에 문제가 생겼음을 의미한다. <표 1>에서 $P_i(t)$ 는 시간 t 에 도착한 생체 신호에서 추출한 i 번째 임상 파라미터(예를 들면, 심전도의 PR)를 나타낸다. 따라서 $P_i(t-1)$ 는 시간 t 의 바로 앞 시간에 도착한 생체 신호에서 추출한 i 번째 임상 파라미터를 나타낸다. Max_T_i 와 Min_T_i 는 i 번째 파라미터의 최대값과 최소값으로서, $P_i(t)$ 가 이들 사이라면 정상 상태를 의미한다. <표 1>의 8번째는 임상 파라미터가 추출되지 않는 경우를 나타낸다. 이것은 환자의 건강 상태가 좋지 않아 생체 신호가 정상 파형을 갖지



[그림 8] 블랙보드 에이전트의 동작

를 못하거나 또는 휴대형 단말기의 사용 미숙으로 신호를 제대로 측정하지 못한 경우가 대부분이다.

<표 1>에서 이벤트 종류 칸은 각 이상 상태별로 발생시킬 이벤트의 종류를 명시한다. 현재 4, 6, 8번째 상황의 발생 시, 의료 담당자의 휴대폰으로 이상 상황의 발생을 알리는 문자 메시지를 보내는 이벤트를 생성하고, 그 외 상황에는 의료 담당자의 컴퓨터 화면의 주의 창에 해당 상황을 알리는 이벤트를 생성한다.

각 임상 파라미터의 값은 정상 범위가 존재하는데, 이런 범위는 주로 성별, 나이, 몸무게 별로 다르다. 예를 들면, 심전도 관련 임상 파라미터 RR은 심박수를 나타내는데, 정상 심박수의 범위는 어린이와 어른에 따라 다르다. 따라서 서버 데이터베이스에는 각 임상 파라미터별로 성별, 나이대, 몸무게 구간에 따라 정상 범위의 최대 및 최소값을 기록한 Clinical_Parameter_Normal_Range라는 테이블이 존재한다.

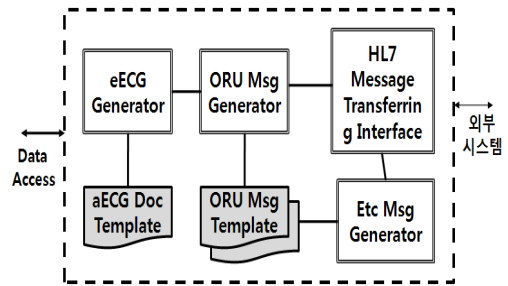
<표 1> 이상 상황

NO	이상 상황	이벤트 종류
1	환자의 질문 도착	NOTICE_GEN
2	환자의 방문 요청	NOTICE_GEN
3	의사 질문에 대한 답변 도착	NOTICE_GEN
4	측정 스케줄의 불규칙	NOTICE_GEN
5	$P_i(t) > Max_T_i$	ALARM_GEN
6	$P_i(t) < Min_T_i$	ALARM_GEN
7	$P_i(t)$ 은 비정상, $P_i(t-1)$ 는 정상	NOTICE_GEN
8	$P_i(t)$ 가 추출 안 됨	ALARM_GEN
9	$P_i(t-1)$ 는 추출 안 됨, $P_i(t)$ 는 추출 가능	NOTICE_GEN

4.4 의료 표준안 지원

앞에서 언급한 대로, HL7 지원기는 환자 정보와 심전도 및 광혈류량 데이터를 HL7 메시지 형태로 표현하여 관련 프로토콜에 맞추어 외부의 의료 정보시스템에 전달하는 기능을 제공한다. 또한, 심계질환 진단에 가장 중요한 생체 신호인 심전도 데

이터를 표준포맷인 aECG 포맷[7]으로 변환하는 기능도 제공한다. EasyCare 시스템의 개발 목표는 비의료기관들과 중소형 의료기관을 연결하는 u-헬스케어 서비스를 제공하는 것이다. 본 시스템이 설치된 병원에서 진료를 받던 환자가 다른 대형 병원으로 옮기고자 할 때, 이미 축적된 환자관련 데이터를 해당 병원의 의료 정보시스템에 이관해 달라는 요구가 발생할 것이다. HL7 지원기는 EasyCare 시스템을 외부 의료기관과 연동하도록 역할을 담당한다. [그림 9]는 HL7 지원기의 구조이다.



[그림 7] HL7 지원기의 구조

환자 등록 정보는 ADT 메시지로, 심전도 및 광혈류량 데이터는 HL7 v2 ORU 메시지로 외부 시스템에 각각 전송되고, 전송이 성공적이면 ACK 메시지가 수신하게 된다. 이들 메시지의 효과적인 생성을 위하여 메시지 템플릿을 이용한다. 즉, 메시지 생성 시에 관련 템플릿에 서버 데이터베이스로부터 적절한 데이터 항목을 읽어 대체함으로써 원하는 메시지를 완성하게 된다. eECG 포맷 파일은 별도로 외부 정보시스템에 전달되거나 또는 ORU 메시지에 ED(Encapsulated Data) 타입 객체로 삽입될 수 있다.

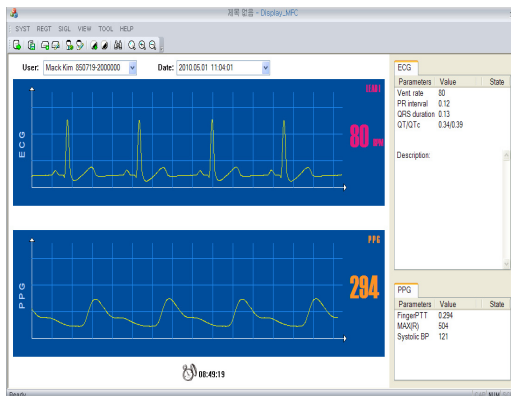
5. 구현 및 실험

5.1 구현

심전도 및 광혈류량 측정하는 휴대형 단말기의 메인 보드는 Atmel사의 ATMEGA168 MCU를, Zigbee

모뎀 모듈은 Philcom사의 EZBee-U100을, USB 통신은 FTDI사의 FT232를 사용하여 구현했다. 단말기의 펌웨어는 HPinfotech사의 Code Vision AVR 컴파일러 2.04를 사용하여 C로 구현했다.

본 논문에서 제안한 주요 개념을 중심으로, 단말기 관리 에이전트, 서버시스템 및 스텝 에이전트는 Visual Studio 2008을 이용하여 구현했고, 이들 간의 자료 교환은 소켓 통신을 이용하였다. 단말기측 시스템의 데이터베이스는 Access를 사용하고, 서버 데이터베이스는 MS SQL 2008을 사용했다. 매번 측정된 심전도 및 광혈류량 데이터는 한 개 레코드로서 데이터베이스내의 저장한다. 그 이유는 생체 신호의 각 샘플 값을 별도 레코드로 저장하면 관련 테이블의 크기가 늘어나며, 또한 개별 샘플 값을 질의하는 경우는 거의 발생하지 않기 때문이다. 전체 시스템의 개발 과정에서 생체 신호의 특징, 분석 방법, 이상 신호의 구분 방법에 대해서는 대학 부속 병원의 내과 전문의의 자문을 받았다.



[그림 10] 스텝용 에이전트의 사용자 인터페이스

[그림 10]은 스텝 에이전트의 사용자 인터페이스 화면이다. 화면상 그래프는 특정 환자의 심전도 및 광혈류량 데이터를 보여주고 있다. 화면의 우측 영역은 자동으로 추출한 임상 파라미터 값 및 이상 여부를 보여주는 곳이면서 동시에 전문의 소견을 입력하는 곳이다. QT는 Q파의 시작점과 T파의 끝점 사이의 평균 시간이다. $QTc = QT / \sqrt{RR}$ 이며,

RR은 연이은 두 R파의 정점들 사이의 평균 시간이다.

단말기 관리 에이전트의 사용자 인터페이스도 [그림 10]과 비슷하게 특정 환자의 심전도 및 광혈류량 데이터를 그래프 형태로 확인할 수 있다. 그 사용자 인터페이스에서는 사용자 및 단말기 관리를 위한 메뉴 등이 제공 된다

5.2 실험

실험을 통해서 본 논문에서 제안된 시스템의 성능과 사용자 편의성을 테스트하였다. 서버 시스템은 윈도우즈 XP Pro SP3, Intel Quad CPU 3.2GHz, 메모리 4GB의 사양을 가진 컴퓨터에서 동작시켰으며, 단말기 관리 에이전트와 스텝용 에이전트는 서버 시스템의 경우보다 다소 낮은 사양의 컴퓨터에서 1개씩 동작시켰다. 단말기 관리 에이전트는 가정 및 약 200평 정도의 사무실 공간에서 각각 설치하여 실험하였다.

휴대형 단말기는 현재 양산 단계가 아니기 때문에, 실험용으로 사용할 수 있는 단말기의 수는 제한될 수밖에 없었다. 따라서 우리는 4개의 휴대형 단말기를 실제 사용하여 휴대형 단말기의 사용성 편리성과 Zigbee 통신의 데이터 전송 정확성 및 최대거리를 테스트하였다. 단말기 사용자는 심전도 신호를 측정을 할 때, 양손 끝과 한쪽 발을 금속 전극들에 접촉하게 된다. 휴대형 단말기에서 한번의 측정이 완료되려면 단말기 관리 에이전트로부터 'OK' 메시지가 도착하여야 한다. 사용자는 이 메시지의 도착을 단말기 외부의 LED가 깜박거리고 짧은 신호음이 발생으로 확인하면 된다. 양손 끝을 단말기 외부에 노출된 금속 단극에 대한 방식의 경우 측정중 사용자의 미세한 움직임이 발생할 가능성이 높아, 전문 케이블 전극을 사용하는 경우보다 측정시간이 다소 오래 걸렸다. 사용자들의 전반적인 반응은 긍정적이었고, 본인의 상황 및 의향에 맞추어 측정 방법을 선택하게 되는 점에서 만족하였다. Zigbee 통신은 완전히 개방된

공간에서는 최대 통신거리가 수백 미터로 알려져 있다. 우리의 실험 결과, 본 시스템에서 사용하는 Zigbee 모뎀은 가정이나 사무실 환경에서 최대 50m 내에서는 송수신 에러가 없음을 확인하였다. 50m를 넘어서는 경우 통신 에러 발생률이 거리에 비례하여 증가하고 약 100m를 넘는 경우에는 거의 데이터 통신이 되지 않음을 알 수 있었다.

다수의 사용자가 생체 신호를 동시 전송하는 경우를 테스트하기 위하여, 자체 제작한 가상 단말기를 사용하였다. 가상 단말기는 실제 단말기와 단말기 관리 에이전트 사이의 데이터 송수신 프로토콜을 따르면서 미리 정해진 분량의 생체 신호를 보내는 에뮬레이터이다. 40대의 가상 휴대형 단말기를 이용하여 단말기 사용자의 관점에서 사용자 반응시간, 단말기 관리 에이전트 및 서버 시스템의 정상 동작 여부를 검증하였다. 매 데이터 측정기 5초 내외 인 점을 감안하며, 동시 사용자 수가 40이라면 대략 수천 명의 환자가 등록되었음을 의미한다. 본 시스템이 중소 병원용이란 점을 감안하면, 부하 테스트에서 동시 사용자 수를 40으로 가정하면 충분하다고 할 수 있다. 테스트 결과, 가상 단말기와 함께 휴대형 단말기를 사용한 실제 사용자는 생체 신호 측정에서 사용자 반응이 지연되는 감을 느끼지 못하였고, 본 시스템이 중간에 다운되거나 오동작을 하는 현상은 관측되지 않았다.

이벤트 모니터의 성능을 테스트하기 위하여 심계질환자의 심전도 예제[1]을 토대로 가상 단말기에서 이상 신호들을 가상 단말기가 발생시키도록 설정하였다. 테스트 결과, <표 1>에서 정의한 것과 같은 측정의 불규칙성, 신호 데이터의 비정상, 지난 데이터와의 큰 차이가 발견되면 관련 이벤트를 적절하게 발생시켰다. 이와 같은 환자 이상 상황 이벤트의 자동 발생 및 보고 기능에 대해서 외부 자문가는 높은 만족감을 높였다.

<표 2>는 우리의 EasyCare 시스템과 기존의 주요 u-헬스케어 시스템들을 비교한 것이다. 본 시스템은 심계질환자의 생체 신호 측정 및 관리 측면에서 기존 시스템들에 비해 보다 다양하고 편리

한 기능들을 제공함을 알 수 있다.

<표 2> 타 u-헬스케어 시스템과 비교

비교항목	EasyCare	기존 연구 ([10])	기존 연구 ([14])
무선 전용단말기 지원	예	아니오	예
심계질환 전용	예	아니오	아니오
환자데이터 실시간 모니터링 및 알림	예	예	예
의료표준지원(HL7)	예	아니오	아니오
시스템 확장성 및 변경용이성	높음	높음	낮음

6. 결 론

최근 사람들의 수명이 늘어나고 경제적 여건이 좋아지면서, 건강에 대한 관심을 크게 늘었다. 특히 IT 기술의 발달로 개인이 병원이나 의원을 방문하지 않고, 가정과 같이 비의료시설에서 생체신호를 평상시에 측정하여, 원격지에 있는 전문의에게 전송하여 건강 상태를 진단을 받고, 생체 신호를 데이터베이스에 저장하여 추후 질병 발생 시에 참고 자료로 활용하고자 하는 서비스에 대한 요구가 발생하고 있다. 또한, 많은 환자를 관리하는 병원의 경우, 실시간으로 전송되는 생체 신호로부터 건강상 이상 소견이 발생 했는지 여부를 수작업으로 즉각 파악하기에는 어려움이 많다.

본 논문에서는 에이전트 기반의 심계질환자 관리를 위한 u-헬스케어용 시스템을 제안하였다. 심전도는 심계 건강의 가장 주요 지표중 하나이고, 광혈류량은 심계질환 진단에 최근 중요도가 높아지고 있다. 본 시스템에서는 가정과 같은 일반인의 생활 시설에서 이들 생체 신호를 휴대형 단말기로 측정하여, 실시간으로 Zigbee 무선망과 인터넷을 통하여 의료기관의 데이터베이스에 저장하면서, 동시에 자동으로 임상파라미터를 추출하여 건강 이상이 의심되면 의료담당자에게 이런 사실을 알리는 서비스를 제공한다.

일반적으로 심전도 기기는 심계질환 환자의 상태를 파악하는데 필수적이기에 모든 병원에서 구비하고 있다. 심전도 신호의 분석은 전문가의 지식이 필요해서 일반인이 할 수 있는 작업이 아니기 때문에 지금까지 개인 소지용 심전도 기기에 대한 개발과 보급에 대한 노력은 많지 않았다고 본다. 우리의 조사에 의하면, 상용화된 개인용 휴대형 심전도 측정기는 극히 작은 수에 불과하다. 특히, 휴대형으로서 심전도 및 광혈류량을 동시에 측정하는 단말기는 아직 시작에 본격적으로 출시되고 있지 않고 있다. 광혈류량 신호를 이용하여 환자의 혈압, 혈관 상태, 혈관내 산소 정도, 피부 상태 등의 진단에 활용하는 연구 실적이 활발히 발표되고 있어, 심전도와 함께 중요 심계 질환 발생 여부 및 진단에 유용하게 사용되고 있다.

우리의 u-헬스케어 시스템은 단말기 관리 에이전트, 서버 시스템 및 스태프용 에이전트로 구성되어 있다. 서버 시스템을 구성하는 모듈들도 블랙보드로 정보 교환하는 에이전트로 모델링되어 있다. 우리는 u-헬스케어용 생체 신호의 측정, 수집 및 저장 기술은 거의 완성 단계인 반면에 분석 기술은 계속 발전하고 있다고 판단한다. 따라서 생체 신호로부터 새로운 임상 파라미터를 정의하고 이를 기반의 새로운 진단 및 분석 서비스가 출현하거나 또는 기존 서비스의 개선에 대한 요구가 늘어날 것이다. 에이전트 기반 구조는 이런 새로운 서비스를 위한 모듈을 에이전트로 모델링함으로써 시스템의 다른 부분을 거의 변경하지 않고 통합할 수 있는 장점이 있다.

우리의 시스템의 주요 기능으로서 전용 휴대형 단말기를 이용한 심계 생체 신호 측정, 높은 시스템 확장성 및 변경성, 환자 이상 상황의 자동 감지, 의료데이터 교환 표준인 HL7 지원을 들 수 있다. 이와 같은 다양한 기능들 때문에, 우리의 시스템은 기존 관련 시스템들에 비해 심계질환자의 생체 신호 측정 및 관리 서비스를 보다 편리하면서 효율적으로 제공한다. 우리의 실험 결과, 시스템의 전반적인 동작에 정확성 및 편의성에 대한 의료

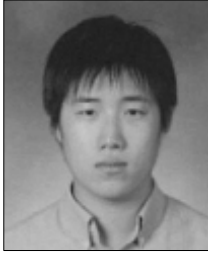
전문가의 평가는 긍정적이었고, 휴대형 단말기 편의성에 대한 사용자 만족도는 높았다.

참 고 문 헌

- [1] 서문자 외, 『성인간호학』, 4판, 수문사, 2000.
- [2] 오세준, 신미령, 유명민, 김상철, “u-헬스케어용 휴대용 심전도 및 혈류량 측정기 설계 및 구현”, 『한국통신학회 동계학술발표대회논문집』, 제41호(2010), pp.100-101.
- [3] Chan, V., P. Ray, and N. Parameswari, “Mobile e-Health monitoring : an agent-based approach”, *IET Commun.*, Vol.2, No.2 (2008), pp.223-230.
- [4] Daknou, A., H. Zgaya, S. Hammadi, and H. Hubert, “Agent based optimization and management of healthcare processes at the emergency department”, *International Journal of Mathematics and Computers in Simulation*, Vol.2, No.3(2008), pp.285-294.
- [5] Heine, C., R. Herrler, and K. Stefan, “Agent-based Optimization and Management of Clinical Processes”, *Proceedings of the 16th European Conference on Artificial Intelligence-the 2nd Workshop on Agents Applied in Health Care*, (2004), pp.30-48.
- [6] *Health Level Seven International*, www.hl7.org.
- [7] *HL7 aECG Implementation Guide*, HL7 Regulated Clinical Research Information Management (RCRM) Technical Committee.
- [8] Huang, J., N. R. Jennings, and J. Fox, “An Agent-based Approach to Health Care Management”, *Applied Artificial Intelligence*, Vol.9, No.4(1995), pp.401-420.
- [9] Koutkias, V. G., I. Chouvarda, and N. Maglaveras, “A Multi-agent System Enhancing Home-Care Health Services for Chronic Disease Management”, *IEEE Transaction*

- on Information Technology in Biomedicine*, Vol.9, No.4(2005), pp.528-527.
- [10] Koutkias, V. G., I. Chouvarda, and N. Maglaveras, "An agent-based Monitoring and Alert Generation for a Home Telemedicine System", *AMIA 2003 Annual Symposium*, (2002), pp.395-398.
- [11] Mabry, S. L., C. R. Hug, and R. C. Roundy, "Clinical Decision Support with IM-Agents and ERMA Multi-agents", *17th IEEE Symposium on Computer-Based Medical Systems (CBMS)*, (2004), pp.242-247.
- [12] Nealon, J. and A. Moreno, "Agent-Based Applications in Health Care", *Applications of Software agent technology in the health care domain, Whitestein Series in Software Agent Technologies and Autonomic Computing*, Birkhauser Verlag, Basel, (2003), pp. 35-40.
- [13] Riano, D., S. Prado, A. Pascual, and S. Martin, "A Multi-Agent System to Support Palliative Care Units", *15th IEEE Symposium on Computer-Based Medical Systems (CBMS)*, (2002), pp.35-40.
- [14] Wu, K. and X. Wu, "A wireless mobile monitoring system for home healthcare and community medical services", *IEEE*, (2007), pp.1190-1193.
- [15] Zhang, Y., M. Lee, and T. M. Gattton, "Agent-Based Web Healthcare Systems for Real-Time Chronic Disease", *Congress on Services*, (2009), pp.14-21.

◆ 저 자 소 개 ◆



조 현 주 (assainsat@naver.com)

한국외국어대학교 컴퓨터공학과에서 학사를 취득하고, 현재 한국외국어대학교 대학원 컴퓨터및정보통신공학과에서 석사과정에 재학 중이다. 학사 및 석사 과정 중에 무선 센서 네트워크, 스마트폰 기반의 멀티미디어 콘텐츠 기술, u-헬스케어 시스템 관련 프로젝트에 참여한 적이 있다. 참여한 프로젝트의 결과물을 한국통신학회 등의 국내 학회의 학술발표대회에서 논문을 발표한 바 있으며, 주요 관심분야는 임베디드 소프트웨어, 체감형 컴퓨터 게임, 모바일 소프트웨어 등이다.



김 상 철 (kimsa@hufs.ac.kr)

서울대학교 컴퓨터공학과를 졸업하고 미시간주립대학교(Michigan State University) 컴퓨터공학과에서 박사를 취득하였다. 한국전자통신연구소(ETRI)에서 인공지능, 전문가시스템 관련 다수의 프로젝트에 참여한 바 있다. 현재 한국외국어대학교 컴퓨터공학과 교수로 재직 중이며, Transactions on Internet and Information Systems, 한국정보처리학회, 한국정보기술학회 등의 국내외 학술지에 논문을 게재한 바 있다. 주요 관심분야는 분산 멀티미디어 시스템, u-헬스케어 정보시스템, 무선센서네트워크, 기능성 컴퓨터 게임 등이다.