지능공간에서의 인간행동 인식을 통한 노약자 및 환자의 위급상황 알람 서비스

Emergency Alarm Service for the old and the weak by Human Behavior Recognition in Intelligent Space

이 정 엄[1], 김 주 형[1], 이 현 구[1], 김 상 준[2], 김 대 환[3], 박 귀 태†

Jeong-Eom Lee[1], Joo-Hyung Kim[1], Hyun-Gu Lee[1], Sang-Jun Kim[2], Dae-Hwan Kim[3], Gwi-Tae Park†

Abstract In this paper, we discuss a service to give alarm in the case of emergency for the old and the weak by human behavior recognition in Intelligent Space. Our Intelligent Space consists of mobile robots, sensors and agents. And these components are connected to network framework. Agent analyzes data acquired from networked sensors and determines task of robots and a space to provide a service for humans. In our emergency alarm service, human behavior recognition service module analyzes accelerometer data obtained from body-attached human behavior sensing platform, and classifies into four basic human behavior such as walking, running, sitting and falling-down. For the old and the weak, falling-down behavior may bring about dangerous situations. On such an occasion, agent executes emergency alarm service immediately. And then a selected mobile robot approaches fallen person and sends images of the person to guardians. In this paper, we set up a scenario to verify the emergency alarm service in Intelligent Space, and show feasibility of the service from our simulation experiments.

Keywords : Intelligent Space, Emergency Alarm Service, Human Behavior Recognition, Task Management

1. 서 론

유비쿼터스 컴퓨팅 기술이 발전함에 따라 각종 센서나 제어 장치들을 네트워크를 통해 분산시킴으로써 로봇에 대한 물리적인 부담을 줄이고, 응용범위를 다양화할 수 있는 네트워크 기반 서비스 로봇에 대한 연구가 활발히 진행 중이다[1][2]. 특히, 지능공간(Intelligent Space) 또는 유비쿼터스 공간(Ubiquitous Space) 내에서 인간과 상호작용하여 수준 높은 서비스를 제공할 수 있는 로봇에 대한 수요와 관심이 높아지고 있다[3][4].

최근 사회 복지 분야의 노약자나 환자를 도와주기 위한 도우미 로봇에 대한 연구가 다양하게 진행 중이다. 매년 그 숫자가 증가하는 독거노인의 경우 위급상황이 발생하면 누군가에게 상황을 신속하게 알릴 필요가 있다. 기존의 노약자나 환자의 위급상황을 파악하기 위한 방법으로는 노약자나 환자 자신이 전화를 이용해 외부에 알리거나, 웹을 통한 모니터링 시스템을 이용하는 것 등이 있다[5][6]. 본 논문에서는 지능공간에서 노약자나 환자에게 위급상황이 발생했을 경우 병원이나 보호자에게 위급상황을 자동으로 알리고, 로봇이 실시간으로 노약자나 환자의 상태를 영상으로 전송해주는 서비스에 대해 논의하고자 한다.

본 논문은 다음과 같이 구성되어 있다. 2장에서는 전체적인 시스템에 대한 개요를 소개하고, 3장에서는 베이지안 네트워크(Bayesian Network) 기반의 작업 관리 방법을 기술하였다. 4장에서는 인간행동 인식 모듈에 대한 하드웨어 및 인식 알고리즘에 대해 설명하고, 이를 기반으로 한 응용시나리오와 시뮬레이션 결과를 5장에 기술하였다. 마지막으로, 6장에서는 향후 과제와 계획에 대해 논의하고 결론을 맺고자 한다.

※ 이 논문은 21세기 프론티어 연구개발사업의 일환으로 추진되고 있는 정보통신부의 유비쿼터스컴퓨팅 및 네트워크원천기술개발사업의 지원에 의해 연구되었음.

† 교신저자 : 고려대학교 전기전자전파공학부 교수 (E-mail:gtpark@korea.ac.kr)

[1] 고려대학교 전기전자전파공학부 (E-mail:marejeno@korea.ac.kr, proteus99@korea.ac.kr, hglee99@korea.ac.kr)

[2] 고려대학교 메카트로닉스협동과정 (E-mail:hahaprince@korea.ac.kr)

[3] 전자부품연구원 지능형정보시스템연구센터 (E-mail:kimdh@korea.ac.kr)

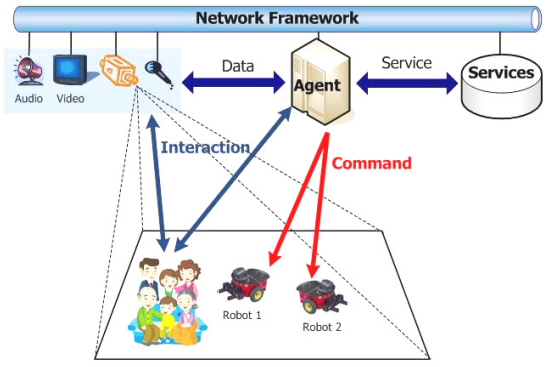


그림 1. 시스템 개요

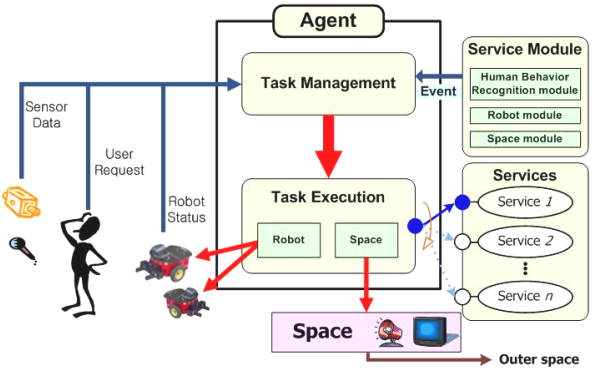


그림 2. 에이전트(Agent)의 개념도

2. 시스템 개요

지능공간(Intelligent Space)이란 네트워크로 연결되어 있는 센서나 제어 장치들을 이용하여 공간에서 발생하는 상황을 감지하고, 로봇 등을 통하여 상황에 맞는 서비스를 사람에게 제공하는 공간이다. 본 논문의 지능공간은 그림 1과 같다. 지능공간은 CORBA 기반의 네트워크 프레임워크, 네트워크로 연결된 각종 센서와 제어 장치, 다수의 네트워크 기반 로봇, 정보의 흐름 및 작업을 관리하는 에이전트, 사용자에게 제공되는 서비스들 등으로 구성된다.

서비스는 사용자의 요구에 대한 응답으로 제공되기도 하지만, 에이전트 스스로 상황에 맞는 서비스를 선택하여 제공할 수 있다. 서비스는 여러 컴포넌트(component)로 구성되는데 각각은 모듈화 되어 있다. 즉, 서비스(service)는 서비스 모듈(service module)들의 연결로 볼 수 있으며, 어떤 서비스는 또다른 서비스의 서비스 모듈이 될 수 있다.

서비스 모듈은 로봇 또는 공간이 서비스를 제공하기 위한 기본 동작들에 대한 기능으로 정의할 수 있지만 서비스 모듈 자체만으로 하나의 서비스가 될 수 있다. 본 논문의 경우 에이전트는 미리 정의된 여러 서비스들 가운데 하나를 선택하거나, 상황에 따라 스위칭 함으로써 사용자에게 서비스를 제공한다.

에이전트는 공간에 설치된 센서로부터 정보를 수집, 처리하고 로봇 및 공간의 작업을 결정하여 로봇과 공간에 명령을 하달함으로써 사용자에게 서비스를 제공한다. 그림 2는 에이전트의 서비스 제공과 관련한 개념도를 보여준다. 에이전트는 멀티 센서 및 로봇으로부터 다양한 데이터를 네트워크를 통해 수집하고, 이 데이터를 필요로 하는 서비스 모듈에게 전송한다. 작업 관리를 위해 에이전트는 전송된 데이터를 바탕으로 공간에서 발생하는 상황을 파악하고, 서비스 모듈이 발생시키는 이벤트를 분석하여 어떤 로봇이 어떤 작업을 수행하여야 하는지를 판별한다. 이것을 바탕으로 에이전트는 로봇 혹은 공간이 작업을 수행할 수 있도록 구체적인 명령을 지시한다.

로봇과 공간은 에이전트의 명령에 따라 선택된 서비스를 수행한다. 이때, 작업 수행에 필요한 정보는 서비스 모듈로부터 제공받을 수 있다.

모든 정보의 이동은 네트워크 프레임워크를 통해 이루어진다. 네트워크 프레임워크는 CORBA의 무료 배포판인 ACE/TAO를 사용하여 구현하였다.

3. 베이지안 네트워크 기반의 작업 관리

지능공간에서 발생하는 상황에 따라 서비스를 제공하기 위해 로봇 및 공간의 작업을 효과적으로 관리할 필요가 있다. 작업 관리를 위해 에이전트는 전송된 정보를 바탕으로 공간에서 발생하는 다양한 상황에 대한 인과관계를 고려하여 로봇의 작업을 결정한다. 본 논문에서는 효과적인 작업 관리를 위해 베이지안 네트워크를 이용하였다. 베이지안 네트워크를 이용하여 지능공간의 작업을 관리하기 위해서는 상태 벡터를 정의해야 하는데, 본 논문에서는 다음과 같이 정의하였다.

$$\underline{x_i} = [b \;\; m \;\; s_j \;\; p \;\; e] \tag{1}$$

$\underline{x_i}$: i번째 로봇의 상태벡터
b : 배터리 충전 정도
m : 로봇의 이동성
s_j : j번째 서비스 수행 능력
p : 현재 진행중인 작업의 우선순위
e : 이벤트 정보

정의된 상태 벡터는 베이지안 네트워크의 입력 노드로 표현되고, 이벤트가 발생하였을 경우 작업을 수행할

로봇을 결정하기 위해 수행할 작업에 필요한 요소와 로봇의 상태에 대한 인과관계를 고려하여 베이지안 네트워크를 구성한다. 수식 (2)에 상태 벡터를 입력으로 하여 작업을 수행하기 위한 로봇의 확률값을 구하고, 수식 (3)을 이용하여 최종적으로 작업을 수행할 로봇을 결정한다.

$$P[\underline{x_i}|T] = \frac{1}{(2\pi)^{\frac{n}{2}}\left[\det(C_{\underline{x_i}})\right]^{\frac{1}{2}}} exp\left(-\frac{1}{2}\underline{x_i}^T C_{\underline{x_i}}^{-1}\underline{x_i}\right) \quad (2)$$

$$R = \arg\max P\left[\underline{x_i}|T\right] \quad (3)$$

$\underline{x_i}$: i번째 로봇의 상태벡터
$C_{\underline{x_i}}$: i번째 로봇의 상태벡터에 대한 공분산
T : 로봇이 수행할 작업
R : 작업을 수행할 로봇

4. 인간행동 인식 모듈

본 논문에서는 가속도 센서 데이터를 이용하여 걷기, 뛰기, 앉기, 넘어지기 등 4가지 기본 행동에 대한 인식을 수행하였다. 인체부착형 가속도 센서 보드에서 수집한 데이터를 에이전트가 수집하여 서비스 모듈 내의 인간행동 인식 모듈로 전송한다. 인간행동 인식 모듈은 가속도 데이터를 이산 푸리에 변환(DFT, Discrete Fourier Transform), 주성분 분석(PCA, Principal Components Analysis) 등의 방법으로 분석하여 인간행동을 인식한다. 인식 결과는 이벤트 형식으로 에이전트로 전송되고, 이것은 베이지안 네트워크 상태 벡터의 한 요소값이 된다.

4.1 가속도 센서 데이터 수집

본 논문에서는 각 신체 부위별 다른 가속도 범위(acceleration range)의 부품을 사용하던 기존 방식과 달리 손목, 발목, 허벅지 등 신체 부위에 관계없이 동일 플랫폼을 사용하여 데이터를 수집하였다. 그림 3은 인체부착형 인간행동 센싱 플랫폼의 실물을 보여준다.

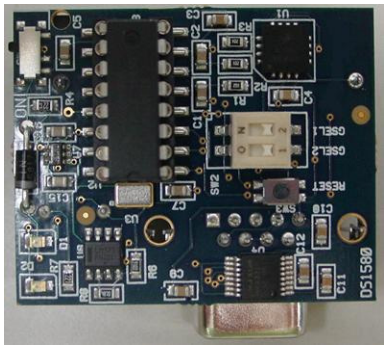


그림 3. 인체부착형 인간행동 센싱 플랫폼

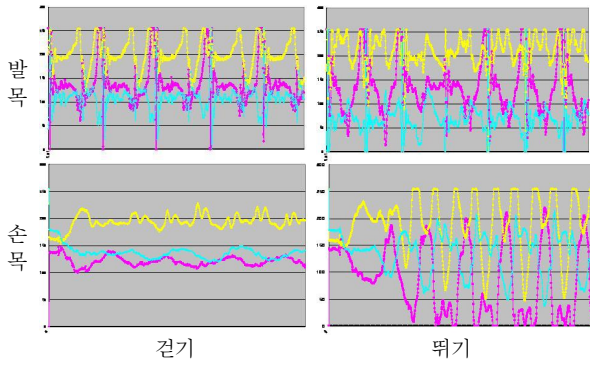


그림 4. 데이터 수집 결과

가속도 센서는 Freescale사의 MMA7260을 사용하였으며, 5ms의 주기로 샘플링하여 XYZ 3축에 대한 센서값을 측정하였다. 데이터는 임베디드 시스템 상에서 시리얼 통신을 통해 수집되었고, 수집된 데이터는 이더넷으로 패킷화하여 에이전트로 전송하였다. 가속도 범위는 입력 데이터 값을 일정시간 모니터링 한 후 최대값과 최소값을 활용하여 1.5g~6g 사이의 값으로 결정하였다. 걷기, 뛰기 행동에 대한 XYZ 3축의 가속도 센싱 데이터를 발목과 손목에서 수집하여 그림 4에 나타내었다.

4.2 인간행동 인식 알고리즘

가속도 센서 데이터를 이용한 행동 인식 과정은 그림 5와 같이 이루어진다. 수집된 데이터로부터 시간의 흐름에 따라 윈도우를 이동해 가면서 일정크기의 샘플 데이터를 이산 푸리에 변환한다. 이렇게 얻어진 주파수 영역에서의 데이터를 주성분 분석을 통해 일정 시간 동안 어떤 패턴의 신호가 들어왔는지 분류하여, 행동을 인식한다.

주성분 분석은 잘 알려진 데이터 분석 방법으로, 다량의 변수를 축약하여 소량의 지표 변수를 만들 때 사용한다. 주성분 분석은 원 데이터의 공분산 행렬로부터 정규직교한 고유벡터와 대응하는 고유치를 얻고, 고유치가 큰 값을 가지는 고유벡터들을 선택하여 선형 변환

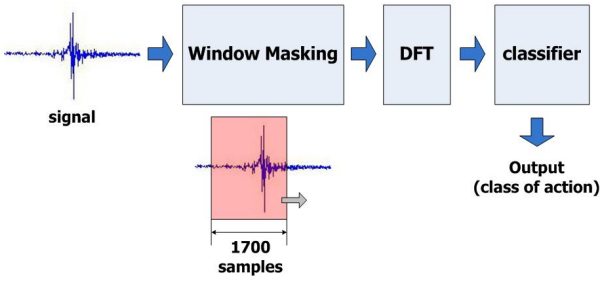


그림 5. 가속도 센서 데이터를 이용한 인간행동 인식 과정

한다. 주성분(principal components, PC)은 N개 원 변수들의 선형 결합에 의해 만들어지므로 N개의 차원 정보가 K개의 차원(주성분, $K << N$)만으로 표현되게 되어 차원 축소에 효과적이다.

공분산 행렬 Σ를 갖는 데이터 집합 $\underline{x}$의 k번째 주성분 z_k는 Σ의 k번째 큰 고유치 λ_k에 대응하는 고유벡터 α_k에 의해 다음과 같이 구해진다[9].

$$z_k = \alpha_k^T \underline{x} \qquad (3)$$
$$(\alpha_k^T \alpha_k = 1, var(z_k) = \lambda_k)$$

원 데이터를 위와 같이 구해진 K개의 주성분으로 사상시켜 얻어진 값을 이용하여 패턴을 판별한다.

4.3 인간행동 인식 실험

본 논문에서는 손목, 발목, 허벅지에 3축 가속도 센서를 부착한 성인 2명으로부터 얻은 데이터를 기반으로 인간행동 인식 실험을 실시하였다. 본 논문의 실험에서는 실험 대상자의 나이, 성별, 신장 등의 신체적 특성은 고려하지 않았다.

그림 6은 걷기, 넘어지기 행동 중 손목에 착용한 가속도 센서 데이터들을 DFT 변환하여 평균한 신호를 보여준다. 이것은 신호가 어떠한 패턴인지를 보여주는 중요한 요소이다. 본 논문에서는 신체 3곳의 가속도 센서로부터 얻어진 데이터를 윈도우 크기를 1700으로 하여 DFT 변환하고, 낮은 주파수 값 80개를 주성분 분석법의 학습 데이터로 사용하였다. 샘플링된 데이터 1700개는 8.5초($= 1700_{samples} \times 5_{ms/samples}$)에 해당하는 것으로 현재의 행동을 인식하기 위해 필요한 지연시간이다.

본 논문에서는 표 1에서 보는 바와 같이 학습과 테스트을 위해 각각 1360개의 실험 데이터를 구성하였고,

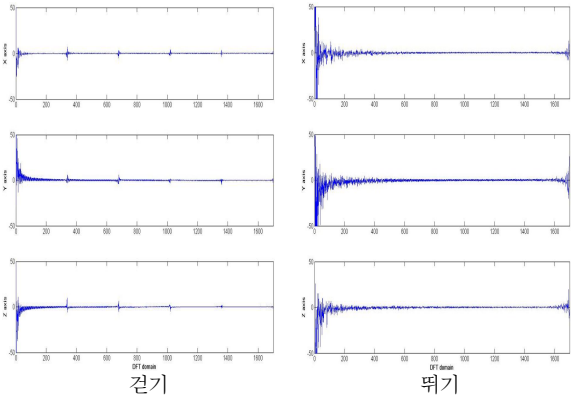


그림 6. 주파수 영역에서의 가속도 센서 데이터(손목)

표 1. 인간행동 인식 실험 데이터의 개수

구 분	학 습	테스트
걷 기	150	150
뛰 기	200	200
앉 기	210	210
넘어지기	800	800
합 계	**1360**	**1360**

표 2. 인간행동 인식 실험결과(K:주성분의 개수)

구 분	$K=1$	$K=2$	$K=4$
걷 기	100%	100%	100%
뛰 기	80.0%	80.0%	95.5%
앉 기	80.0%	100%	100%
넘어지기	79.0%	100%	100%
평 균	**81.8%**	**97.1%**	**99.3%**

주성분의 개수를 변화시켜가며 실험하였다. 원 데이터는 손목, 발목, 허벅지 3곳에서 XYZ 3축에 대해 DFT 변환 후의 저주파수 값 80개로 구성되어 차원이 720 ($= 3 \times 3 \times 80$)이지만, 주성분 분석을 통해 얻어진 1 ~ 4개의 주성분 만으로 표 2와 같은 결과를 얻었다.

5. 응용 시나리오 및 시뮬레이션

5.1 응용 시나리오

4장의 인간행동 인식 모듈을 통해 얻은 결과를 바탕으로 로봇의 작업을 관리하여 상황에 맞는 서비스를 제공할 수 있다. 본 논문에서는 걷기, 뛰기, 앉기, 넘어지

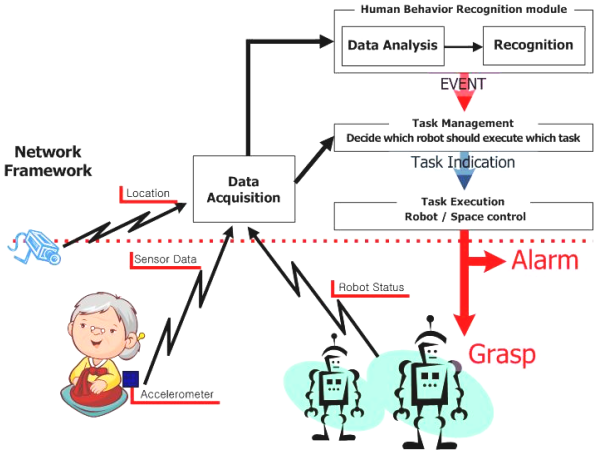


그림 7. 응용 시나리오

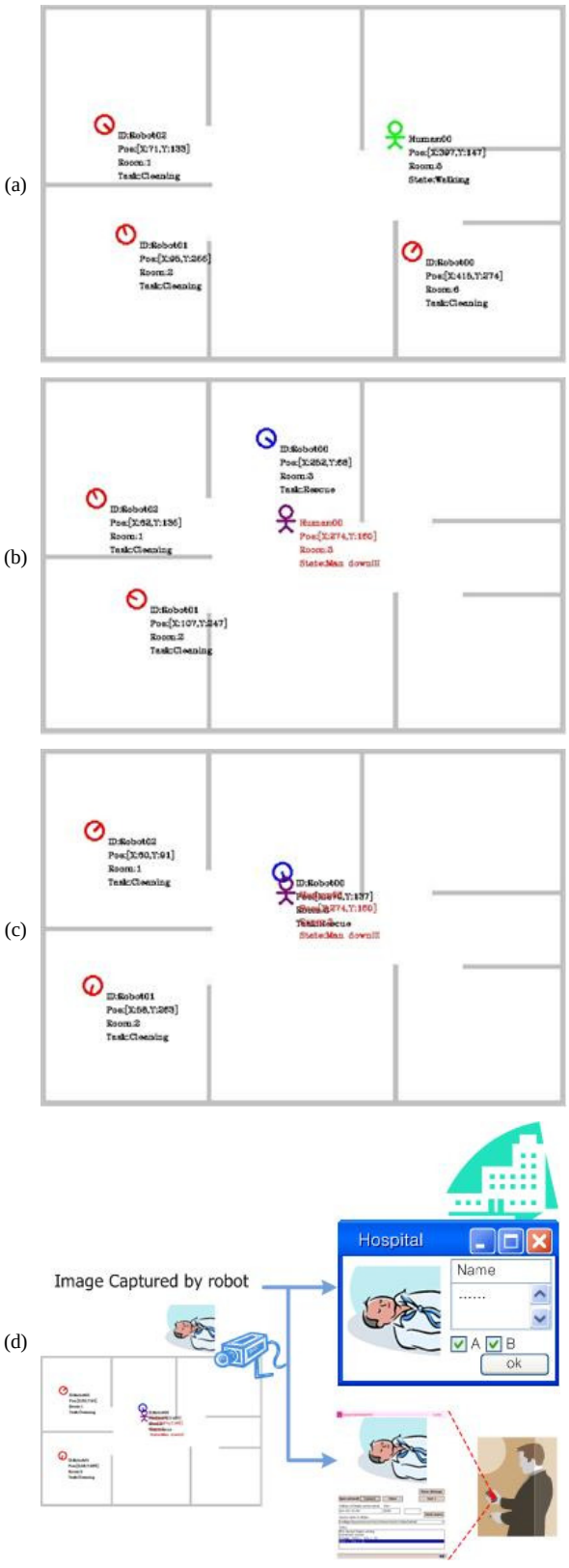


그림 8. 시뮬레이션 결과

기 등 4가지 기본 행동 중 특히 넘어지기 행동의 경우 노약자 및 환자에게 있어 위급 상황으로 이어질 수 있기 때문에 이러한 행동이 인식되면 로봇이 신속히 초기 대응하여 상황 정보를 영상으로 외부에 알리는 알람 서비스를 할 수 있도록 시나리오를 구성하였다. 작업 관리를 위해 에이전트는 인간행동 인식 결과 뿐만 아니라 로봇의 상태, 로봇의 현재 수행 작업 등을 고려하여 베이지안 네트워크를 통해 로봇의 작업을 관리한다. 만약 위급 상황이 발생하면 에이전트는 로봇이 노약자 및 환자에게 접근하도록 지시하고, 로봇에 설치된 카메라를 이용하여 쓰러진 사람의 모습을 촬영하도록 한다. 이때, 사람과 로봇의 위치는 지능공간으로부터 파악할 수 있다. 또한 에이전트는 미리 등록된 병원 혹은 보호자에게 이 영상을 전송하여 위급 상황을 알린다. 그림 7에 시나리오와 관련한 개념도 및 위급 상황 알람 서비스를 나타내었다.

5.2 시뮬레이션 결과

그림 8은 응용 시나리오에 대한 시뮬레이션 결과를 보여준다. 그림 8-(a)는 사람과 로봇들의 위치 및 현재 상황을 보여주고 있다. 사람의 행동은 걷기, 뛰기, 앉기 행동 중 하나이며, 각각의 로봇은 미리 할당된 작업을 수행한다. 하지만 인간행동 인식 모듈에서 넘어지기 행동이 인식되었을 경우 그림 8-(b)와 같이 초기 대응이 용이한 로봇이 에이전트에 의해 선택되고, 선택된 로봇은 현재의 작업을 멈추고 그림 8-(c)처럼 쓰러진 사람에게 빠르게 접근한다. 이후 로봇에 설치된 카메라로 촬영한 쓰러진 사람의 현재 영상 뿐만 아니라 지능공간에 설치된 카메라와 마이크를 통해 얻은 현재 상황에 대한 정보를 알람 서비스를 통해 그림 8-(d)처럼 병원 또는 보호자에게 전송한다.

6. 결론 및 향후 계획

본 논문에서는 지능공간에서 인간행동 인식 모듈을 통해 파악한 노약자 및 환자의 행동을 기반으로 위급 상황이 발생한 경우 외부에 상황을 알려주고 로봇이 사람의 상태를 영상으로 전송하는 위급 상황 알람 서비스를 제공할 수 있도록 응용 시나리오를 구성하고 시뮬레이션 함으로써 그 가능성을 확인하였다. 본 논문에서는 가속도 센싱 플랫폼을 통해 수집한 데이터를 주성분 분석을 통해 인간의 행동 중 걷기, 뛰기, 앉기, 넘어지기 등 4가지 기본 행동을 인식할 수 있는 모듈을 구현하여 간단한 실험 결과를 제시하였다. 향후에는 데이터 수집 방안 및 인간행동 인식 알고리즘을 개선하여 일상생활

의 패턴을 분석하고, 보다 다양한 상황에서 실질적인 서비스를 제공할 수 있도록 발전시켜 나갈 계획이다.

참 고 문 헌

[1] Joo-Ho Lee and Hideki Hashimoto, “Controlling Mobile Robots in Distributed Intelligent Sensor Network”, IEEE Transactions on Industrial Electronics, vol. 50, no.5, pp.890-892, October, 2003.

[2] Young-Guk Ha, Joo-Chan Sohn, Young-Jo Cho, and Hyungsoo Yoon, “Towards a Ubiquitous Robotic Companion: Design and Implementation of Ubiquitous Robot Service Framework”, ETRI Journal, vol. 27, no.6, pp.666-676, December, 2006.

[3] 이승익, 서범수, 김중배, “지능형 서비스 로봇을 위한 유비쿼터스 환경과 제어구조”, 전자통신 동향분석, 제22권, 제2호, pp. 20-30, 4, 2007.

[4] 조영조, 오상록, “지능형 서비스 로봇과 URC (Ubiquitous Robotic Companion)”, 한국통신학회지(정보통신), 제21권, 제10호, pp. 13-21, 10, 2004.

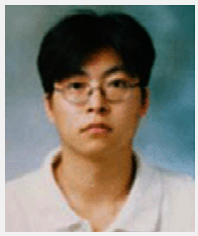
[5] Khalid Mohamed Alajel, Khairi Bin Yosuf, Abdul Rhman Ramli, El Sadig Ahmed, “Remote Electrocardiogram Monitoring Based on the Internet”, KMITL Sci. J. Vol. 5, No.2, pp.493-501, Jan-Jun, 2005.

[6] 류석상, “고령화사회를 대비한 유비쿼터스 IT정책”, 유비쿼터스사회연구시리즈, 제22호, 2006.

[7] Ling Bao and Stephen S. Intile, “Activity Recognition from User-Annotated Acceleration Data”, LNCS 3001, pp.1-17, 2004.

[8] Tâm Huynh and Bernt Schiele, “Towards Less Supervision in Activity Recognition from Wearable Sensors”, Proceedings of the 10th IEEE International Symposium on Wearable Computing (ISWC). October, 2006.

[9] I. T. Jolliffe, Principal Component Analysis, Springer, New York, 2nd edition, 2002.



이 정 엄

2004 고려대학교 전기전자전파공학부 (공학사)

2004~현재 고려대학교 전기전자전파공학부 석박사통합과정

관심분야 : Intelligent Space, Recognition and Learning

김 주 형

2006 고려대학교 전산학과(이학사)

2006~현재 고려대학교 전기전자전파공학부 석사과정

관심분야 : Intelligent Space, Robotics, Machine Learning

이 현 구

1999 고려대학교 전기공학과(공학사)

2001 고려대학교 전기공학과 공학석사

2001~현재 고려대학교 전기공학과 박사과정

관심분야 : Intelligent Space, Mobile Robot

김 상 준

2002 영남대학교 전기공학과(공학사)

2004 고려대학교 메카트로닉스 협동과정 공학석사

2004~현재 고려대학교 메카트로닉스협동과정 박사과정

관심분야 : Intelligent Space, Pattern Recognition

김 대 환

1991 명지대학교 전자공학과 (공학사)
1993 명지대학교 전자공학과 공학석사

관심분야 : Intelligent System, HCI

박 귀 태

1975 고려대학교 전기공학과 (공학사)
1978 고려대학교 전기공학과 공학석사
1981 고려대학교 전기공학과 공학박사
1981~현재 고려대학교 전기전자전파공학부 교수
관심분야 : Intelligent system, Control network