LBS 응용을 위해 움직임 센서를 이용한 독거노인의 칼로리 소모 예측 모델

Calorie Expenditure Prediction Model of Elderly Living Alone using Motion Sensors for LBS Applications

정 경 권*, 김 용 중**★
Kyung Kwon Jung*, Yong-Joong Kim**★

Abstract

This paper presents calorie expenditure prediction model of daily activity of elderly living alone for LBS(Location Based Service) applications. The proposed method is to describe the daily activity patterns of older adult using PIR (Passive InfraRed) motion sensors and to examine the relationships between physical activity and calorie expenditure. The developed motion detecting system is composed of a sensing system and a server system. The motion detecting system is a set of wireless sensor nodes which has PIR sensor to detect a motion of elder. Each sensing node sends its detection signal to a home gateway via wireless link. The home gateway stores the received signals into a remote database. The server system is composed of a database server and a web server, which provides web-based monitoring system to caregivers for more effective services. The experiment results show the adaptability and feasibility of the calorie expenditure model.

요 약

본 논문에서는 LBS(Location Based Service) 응용을 위한 독거노인의 일상 활동의 칼로리 소모 예측 모델을 제안한다. 제안한 방식은 PIR (Passive InfraRed) 움직임 센서를 이용하여 독거노인의 활동 패턴을 측정하고, 물리적 활동과 그에 따른 칼로리 소모의 관계를 검토한다. 제안된 움직임 감지 시스템은 개별 노인 주택에 설치되는 센싱 시스템과 중앙 서버 시스템으로 구성된다. 센싱 시스템은 PIR 센서를 장착한 무선 센싱 노드들로 구성된 무선 센서 네트워크 형태로 구현되었고, 각 센서가 감지한 노인들의 움직임은 홈 게이트웨이를 거쳐 중앙 데이터베이스 서버로 저장된다. 서버 시스템은 데이터베이스 서버와 웹 서버로 구성되어 있으며, 웹 기반 모니터링 시스템을 통해 저장된 움직임 데이터를 가공하여 독거노인들의 수발제공자에게 각 노인들의 효율적인 서비스를 제공한다. 실험을 통해 제안한 칼로리 소모 모델의 성능과 적용 가능성을 확인하였다.

Key words : 활동량 분석, 칼로리 소모 예측 모델, 움직임 감지 센서, 무선 센서 네트워크, LBS(Location Based Service)

* 東國大學校 밀리미터파신기술연구센터
(Millimeter-wave Innovation Research Center, Dongguk University)
** 翰林大學校 電子工學科
(Department of Electronics Engineering, Hallym University)
★ 교신저자 (Corresponding author)
接受日:2010年 3月 2日, 修正完了日: 2010年 3月 24日

Ⅰ. 서론

우리나라를 비롯한 대부분의 선진국들에서 출산율 저하와 평균 수명 증대에 따른 고령화 문제는 향후 도래할 가장 큰 국가적 어려움의 하나로 인식되어 이의 해결을 위해 많은 연구가 진행되고 있다. 더욱이 우리나라는 세계 최저 수준의 출산율로 인해 고령화

사회로의 변화 속도가 가장 빠르고, 특히 핵가족화의 가속화 및 평균 수명의 증대에 따라 가정에서 홀로 생활하는 독거노인의 수가 더욱 많아져 정치, 경제, 사회적 측면에서 가장 어려운 문제가 될 것이다. 이러한 시대적 상황에서 홈 케어서비스(home care service)사업, 중간보호시설 및 1일 탁아소 사업, 유료의 양로 및 요양시설, 노인전용의 의료서비스산업, 노인식품, 노인의복 및 노인용 생활용품의 제조· 판매사업 등의 실버산업이 본격화되고 있고, 독거노인을 대상으로 담당 복지사 사업, 방문 간호사 사업 등이 진행되고 있다[1-3].

이러한 독거 또는 재가 노인에 대한 사회 복지 비용 또한 기하급수적으로 증가할 것으로 예상되므로 이를 효과적으로 지원하는 시스템에 대한 연구 개발이 필요하다. 최근 이러한 요구에 맞추어 홈네트워크와 유비쿼터스 센서 네트워크를 기반으로 다양한 센서를 통해 건강 정보를 모니터링 하거나 방범, 보안 등의 서비스를 제공하는 스마트 홈에 대한 연구가 진행되고 있다[4-7]. 특히, 움직임 감지를 통한 활동 모니터링 등이 큰 호응을 얻고 있다[8].

또한 다양한 통신 기기를 이용하여 개인의 위치 정보를 이용한 LBS(Location Based Service)에 대한 관심이 높아지고 있다. 초기 위성 및 핸드폰을 이용한 부분이 최근에는 IEEE 802.11k/v, 802.15.4a, 802.16g, 802.21 등 여러 표준화 진행 및 연구가 이루어지고 있다[9-13].

본 논문에서는 움직임 감지를 통해 독거노인의 활동이나 움직임을 인지함으로써 집안에서의 활동 정보를 바탕으로 칼로리 소모량을 예측할 수 있는 LBS 응용 시스템을 제안한다. 현재 칼로리 소모는 가속도 센서를 기반으로 한 움직임 측정방법이 주류를 이룬다[14-15]. 그러나 이것은 센서 모듈을 착용해야 하는 번거로움이 있고, 노인의 경우 착용에 대한 불편함과 거부감이 있다. 제안한 시스템은 집안 출입문 상단에 설치된 움직임 감지 센서를 통해 위치를 인지하여 집안에서의 활동량을 체크하고, 개인 정보를 통해 얻어진 보폭과 집안의 구조를 바탕으로 칼로리 소모를 측정하여 노인의 건강 정보를 구축한다. 센서가 고정형이고 비접촉식이기 때문에 착용에 대한 불편은 없으며, 움직임 정보와 칼로리 소모 예측이 가능한 시스템이다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. I장의 서론에 이어 II장에서는 움직임 감지 시스템에 대하여 구조 및 구성에 대해 소개하고, III장에서는 실제 측정 데이터로부터 활동량을 분석하고, 칼로리 소모 예측 모델을 제안한다. 마지막으로 IV장에서 결론 및 향후 과제에 대해 논의한다.

II. 움직임 감지 시스템 구성

그림 1에 나타낸 바와 같이 움직임 감지 시스템은 대상 노인들의 집에 설치되는 "센싱 시스템"과 센서 신호를 저장하고 가공하여 웹을 통해 정보를 표시하는 "서버 시스템"으로 구성되어 있다. 센싱 시스템은 PIR (Passive InfraRed) 센서로 구성된 센서 모듈로부터 움직임 신호를 무선으로 게이트웨이에 보내고, 게이트웨이는 수집된 센서 정보를 인터넷망을 통해서 서버로 보낸다. 서버는 DB서버와 웹서버로 구성되며 간호사나 복지사, 가족이 웹상에서 움직임과 활동량의 정보를 제공한다.

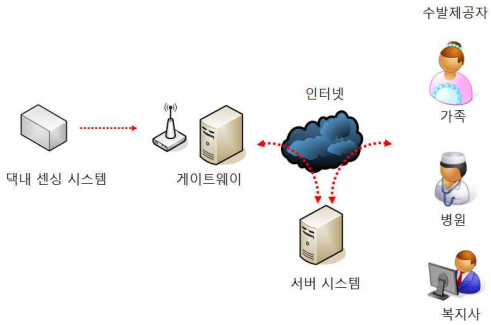

Fig. 1. Block diagram of motion detecting system
그림 1. 움직임 감지 시스템 구성도

1. 하드웨어 구성

움직임 시스템에 사용한 무선 센서 모듈은 그림 2와 같다. Kmote를 기반으로한 센서 노드로, PIR 센서로 구성된 센서 보드와 연결되어 있다. Kmote는 TelosB 플랫폼을 기반으로 한 상용 모델로, TI의 MSP430 마이크로컨트롤러와 CC2420 RF 칩을 사용한다. IEEE802.15.4와 호환되며, TinyOS 1.x와 2.x 버전을 지원한다[16].

Fig. 2. Sensor node
그림 2. 센서 노드

PIR 센서는 인체에서 방사되는 적외선을 감지하는 센서로 움직임을 감지하는데 사용된다. 센서 노드에 사용한 PIR 센서는 PerkinElmer Optoelectronics사의 LHi878을 사용하였다[17].

저전력 구동을 위해서 PIR 센서 보드를 별도로 설계하였고, PIR 센서 보드의 출력은 외부 인터럽트를 발생하여 MCU를 기동(wake-up) 시킨다. 그림 3은 개발한 PIR 센서 보드의 회로도이다.

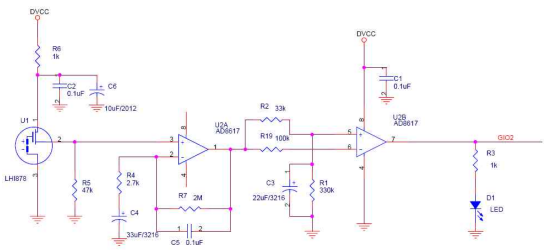

Fig. 3. Schematic of PIR sensor board
그림 3. PIR 센서 보드 회로도

그림 4는 센서 노드를 설치한 위치로 출입문 상단에 설치하여 사람의 움직임을 감지한다. PIR 센서는 인체에서 발생하는 적외선을 감지하기 때문에 출입문만 열리고 닫히는 상태에서는 감지되지 않는다.

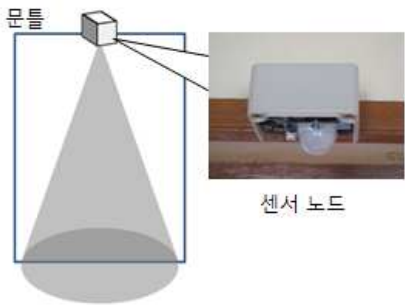

Fig. 4. Installation position of sensor node
그림 4. 센서 노드의 설치 위치

PIR 센서는 별도의 프레넬 렌즈(fresnel lens)를 부착하여 넓은 범위를 감지할 수 있도록 하였다. 그림 5는 바닥의 감지 영역으로 센서 노드를 출입문 상단에 부착하고 움직임이 감지되는 영역을 나타낸 것으로 지름이 약 1.8m의 범위를 감지할 수 있다.

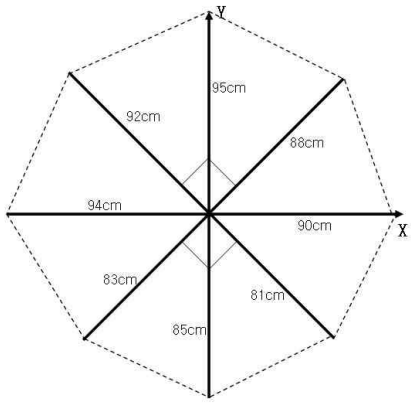

Fig. 5. Detection range of PIR sensor
그림 5. PIR 센서의 감지 범위

2. 소프트웨어 구성

MCU는 대기(sleep) 상태에서 PIR 센서가 감지되면 기동(wake-up)을 하고, RF 칩을 active 상태로 만든 뒤 패킷을 전송한다. 패킷을 전송하고 난 후에 RF 칩의 기능을 대기(sleep) 상태로 만들고, MCU도 대기(sleep) 상태로 돌아간다. 개발에 사용한 패킷은 TinyOS 표준 패킷에 기초하여 다음 그림 6에 나타낸 바와 같은 데이터를 가지도록 설정하였다[18].

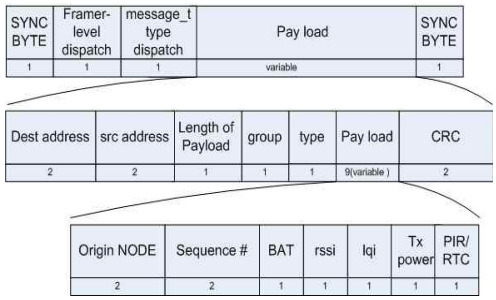

Fig. 6. Packet structure
그림 6. 패킷 구조

그림 6의 각 필드 이름의 아래쪽 숫자는 byte 수를 나타낸다. 주요 정보는 payload 부분에 정의되어 있으며 'Origin NODE' 필드는 개별 센서 노드의 ID를, 'Sequence number'는 각 센서 노드가 발송하는 패킷의 일련번호를, 'BAT' 필드는 MSP430 내장 1.2V 고정 기준 전압을 ADC한 결과 값을 나타내며, 이를 이용하여 현재 센서 노드의 배터리 잔량을 파악할 수 있다. 'rssi' 필드는 received signal strength indicator

로서 패킷을 수신 했을 때의 단순 수신 강도를, 'lqi' 필드는 link quality indicator 값을, 'Tx power' 필드는 송신 파워 레벨을, 'PIR/RTC' 필드는 PIR 센서 결과나 진단 신호를 가진다.

전체 센서 네트워크의 망 형태는 별(star) 형으로 각 송신 모듈들과 수신 모듈이 1:1로 연결된다. 실제 대상 노인의 집에서 모든 송신기가 수신기와 직접 연결이 가능하여 멀티홉 라우팅에 소모되는 개별 센서 노드의 자원을 절약하기 위해 구성하였다.

3. 게이트웨이 및 서버

게이트웨이의 역할은 싱크 모듈에 수신되는 센싱 데이터를 서버 시스템에 전달하는 것과 댁내 시스템의 중앙 제어 장치로 동작하는 것이다. 게이트웨이는 단일 보드 컴퓨터 (EPIA-M1000, VIA co., 800MHz C3 프로세서, 512MB 메인 메모리, 2GB Compact Flash memory)로 구현하였고, Windows XP 운영체제로 동작한다. 그림 7은 게이트웨이의 사진이다.

Fig. 7. Gateway
그림 7. 게이트웨이

게이트웨이는 USB 포트에 연결된 싱크 모듈을 통해 입력되는 패킷을 읽어 해석하고 현재 시간 정보 및 사용자 ID 정보를 더해 중앙의 서버로 전송한다. 게이트웨이는 센싱 시스템의 네트워크와 연결 여부를 실시간으로 확인할 수 있도록 매 30분마다 자신의 현재 IP address를 서버에 기록하는 기능을 가진다. 이 정보를 이용하는 진단 시스템은 게이트웨이의 네트워크 연결 여부를 실시간으로 파악할 수 있다. 이와 함께 게이트웨이는 원격 접속 서비스를 제공하여 원격 관리를 가능하게 한다. 그림 8은 IP 프로그램이며, 그림 9는 센싱 데이터를 처리하는 모니터링 프로그램이다. 모니터 프로그램은 센싱 데이터에서 payload 부분을 분리하여 서버로 전송한다.

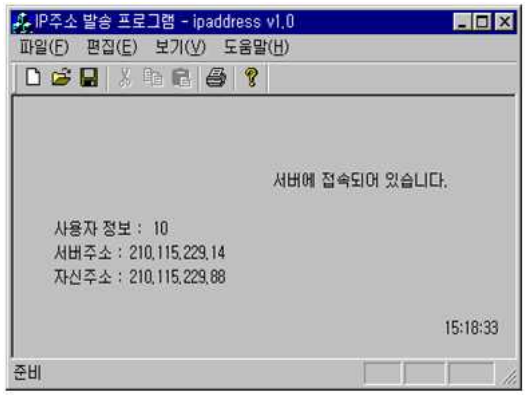

Fig. 8. IP program
그림 8. IP 프로그램

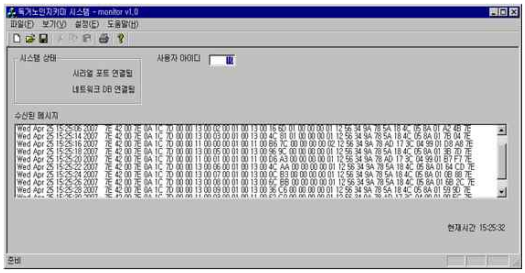

Fig. 9. Monitoring program
그림 9. 모니터링 프로그램

서버 시스템은 가정의 센싱 시스템이 발송하는 데이터를 저장하는 데이터베이스 시스템과 이 데이터를 가공하여 수발 제공자에 따라 일별/주별/월별 움직임 정보를 보여주는 웹 기반 모니터링 시스템으로 구성된다. 데이터베이스 시스템은 MySQL v5.0.24a DBMS를 선택하여 사용하였고 일반 PC 플랫폼(하드웨어 : Pentium Ⅳ 3GHz, 운영체제 : 우분투(v8.0.4) 리눅스)에서 동작한다.

그림 10은 MySQL 화면으로 IP address 정보, 센싱 데이터, 대상 노인 정보, 수발자 정보 등의 항목으로 구성된다. 그림 11은 담당 복지사나 가족이 인터넷을 통해 확인할 수 있는 웹페이지이다. 움직임 감지 정보와 움직임 발생 위치를 표시하고, 센싱 데이터로부터 외출 여부를 판단한다.

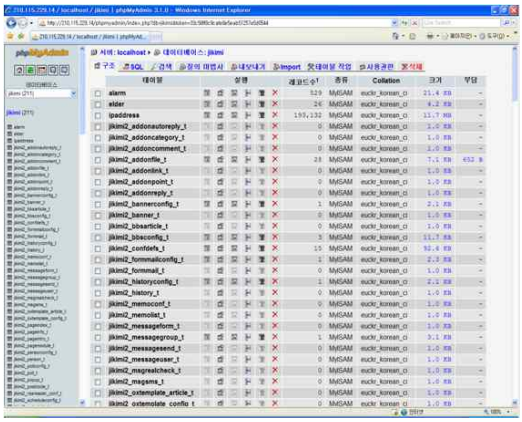

Fig. 10. MySQL program
그림 10. MySQL 프로그램

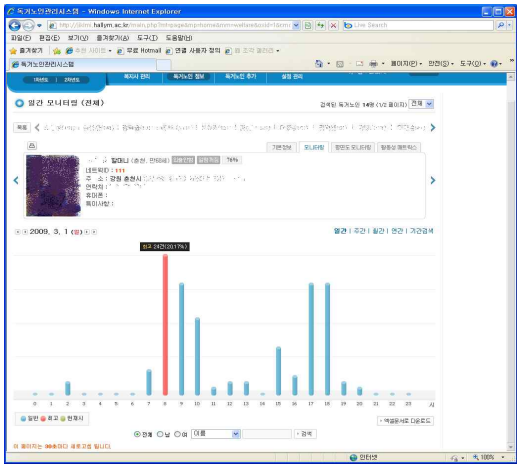

Fig. 11. Web page
그림 11. 웹 페이지

III 제안하는 활동량 분석과 칼로리 소모 예측

움직임 감지 시스템은 춘천시의 도움으로 시범서비스가 수행되었다. 농촌형 가구와 도시형 가구로 나누어 수행되었으며, 도시형 가구 중 한 가구를 선택하여 칼로리 소모를 예측하였다. 기간은 2009년 3월 한 달의 움직임을 바탕으로 칼로리 소모를 예측하였다.

대상자는 만 68세의 할머니로, 그림 12와 같은 구조의 임대아파트에 거주한다.

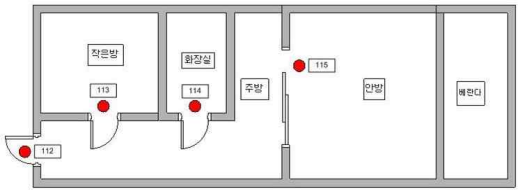

Fig. 12. Installation of PIR sensors
그림 12. PIR 센서 설치도

움직임 센서는 움직임이 많이 일어나는 안방, 화장실, 작은방, 현관에 설치하였으며 각각의 거리는 표 1과 같다.

Table 1. Distance between sensor nodes
표 1. 센서노드 사이의 거리

	현관	작은방	화장실	안방
현관	0	2m	4.2m	6.4m
작은방	2m	0	2.2m	4.2m
화장실	4.2m	2.2m	0	2.2m
안방	6.4m	4.2m	2.2m	0

하루 동안 감지된 움직임을 시간대별로 표시하면 그림 13과 같다. 이것을 바탕으로 오전 6시경 일어나서 활동을 시작하고, 오후 10시경에 수면을 취하는 등의 하루의 활동정보를 알 수 있고, 움직임이 감지된 횟수를 저장하여 평균 활동량과 비교를 통해 건강의 이상 유무를 판단할 수 있다.

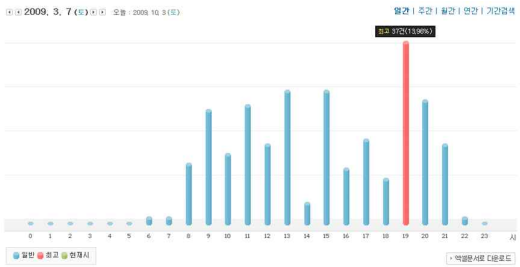

Fig. 13. Monitoring reports for one day
그림 13. 일일간 모니터링 결과

그림 13의 결과에서 설치된 각 센서 노드별 감지 횟수는 그림 14와 같다. 대상 노인은 안방 출입이나 안방에서의 활동이 많은 것으로 생각할 수 있다.

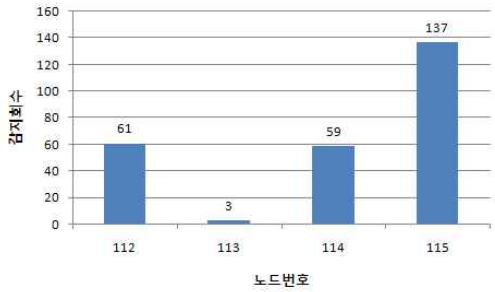

Fig. 14. Number of detection
그림 14. 감지 횟수

일반적으로 평상시 보폭은 키의 35%, 운동시 보폭은 키의 45%로 계산할 수 있다. 식 (1)을 이용하여 노인의 키 정보로부터 대략적인 보폭을 계산한다.

$$\text{보폭} = \text{키} \times 0.35 \quad (1)$$

대상 노인은 키 152cm, 몸무게 46kg의 정보를 이용하여 평상시 보폭은 53.2cm로 결정하였다.

시간에 따른 감지된 노드와 표 1의 이동경로를 이용하여 거리를 산출하고, 보폭이 60㎝ 정도로 30보를 걸으면 1kcal가 소모되는데, 이를 이용하면 표 2와 같이 하루 칼로리 소모를 예측할 수 있다.

단, 같은 노드가 연속으로 감지되는 상황은 문을 나갔다가 다시 들어오는 경우로 판단하여 3걸음을 이동했다고 가정한다.

한 달 동안의 칼로리 소모량은 표 2와 같이 나타낼 수 있다.

Table 2. Calorie expenditure
표 2. 칼로리 소모량

날짜	감지 횟수	걸음수	칼로리 소모[kcal]
1	119	543	16.07
2	227	1101	32.57
3	114	513	15.18
4	175	822	24.32
5	153	675	19.97
6	172	759	22.46
7	265	1248	36.92
8	228	1077	31.86
9	154	552	16.33
10	185	825	24.41
11	246	951	28.14
12	139	507	15.00
13	152	366	10.83
14	157	324	9.59
15	127	339	10.03
16	112	309	9.14
17	203	807	23.88
18	125	648	19.17
19	69	327	9.67
20	227	945	27.96
21	289	1332	39.41
22	188	909	26.89
23	121	390	11.54
24	174	639	18.91
25	274	1068	31.60
26	172	717	21.21
27	204	924	27.34
28	325	1494	44.20
29	131	561	16.60
30	191	789	23.34
31	176	846	25.03

그림 15는 한 달 동안의 움직임 횟수를 나타낸 것이고, 그림 16은 그때의 칼로리 소모를 나타낸 그래프이다.

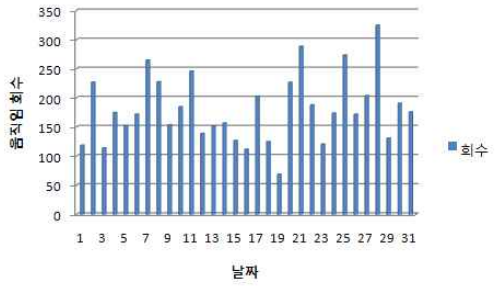

Fig. 15. Monitoring reports for one month
그림 15. 한 달간 모니터링 결과

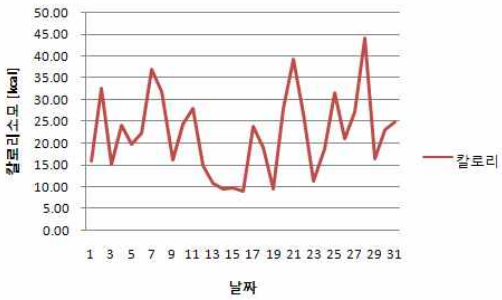

Fig. 16. Calorie expenditure for one month
그림 16. 한 달간 칼로리 소모량

표 2의 결과로부터 움직임 감지 횟수와 칼로리 소모를 scatter 그래프로 나타내면 그림 17과 같다.

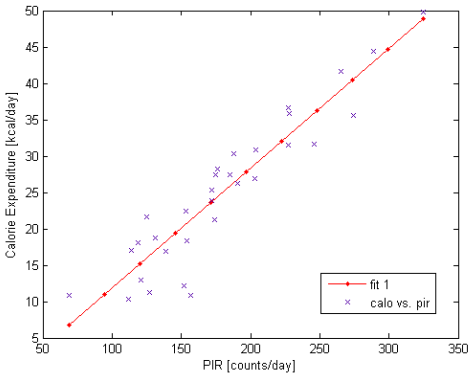

Fig. 17. Scatter plot of daily PIR sensing count and daily calorie expenditure

그림 17. PIR 감지 횟수와 칼로리 소모의 scatter 그래프

PIR 감지 횟수와 칼로리 소모에 대한 모델을 1차 방정식 형태로 Curve fitting을 수행하면 댁내 움직임 정보로부터 독거노인의 칼로리 소모 모델을 식 (2)와 같이 나타낼 수 있다.

$$Calorie\ Expenditure = 0.1644 \times PIR - 4.611 \quad (2)$$

실험 결과 대상 노인은 실내 움직임을 통해 하루 평균 22.24kcal를 소모하는데, Manini 등이 제시한 일상생활에서 하루에 최소로 소모되는 칼로리를 521kcal라고 한다면, 약 4.25%의 칼로리 소모를 집안을 움직이는 활동으로 소모됨을 확인하였다[13].

Ⅳ 결론

본 논문에서는 독거노인의 집안에서의 움직임 정보로부터 칼로리 소모량을 예측하는 방법을 제안하였다. 제안한 방식은 집안에 설치된 움직임 감지 센서를 통해 집안에서의 활동량을 감지하고, 개인의 신장 정보를 통해 얻어진 보폭과 집안의 구조를 바탕으로 칼로리 소모를 측정하여 독거노인의 건강 정보 구축하였다. TinyOS 기반으로 동작하는 실내 움직임 감지 센서는 PIR 센서를 이용하여 구성하였고, 센서의 설치는 방문 위쪽에 설치하였다. 게이트웨이는 센싱 데이터를 수신하여 인터넷을 통해 서버로 전송하는 역할을 담당한다. 서버는 게이트웨이가 발송하는 데이터를 저장하는 데이터베이스 시스템과 이 데이터를 가공하여 담당 복지사나 가족에게 독거노인의 상태 정보를 보여주는 웹 기반 모니터링 시스템을 구성하였다.

춘천시 임대아파트에 거주하는 만 68세의 할머니를 대상으로 하여 2009년 3월 한 달간의 움직임 정보로부터 1차 방정식 형태의 칼로리 소모 예측 모델을 구성하였고, 한 달간 하루 평균 22.24kcal를 소모함을 확인하였다.

향후 추가적인 센서를 설치하고 집안에서 일어나는 일상생활 전반에 대한 정보를 획득하여 보다 정확한 칼로리 소모량을 예측하고, 병원과 연계하여 만성질환 관리 등에 사용하는 위치기반서비스 응용 시스템을 구축한다.

참고문헌

[1] 이인수, *실버산업의 전망과 과제*, 대왕사, 2006.
[2] 지경용 외, *유비쿼터스 시대의 보건 의료*, 진한엠엔비, 2005.
[3] 김숙응, 이의훈, *실버산업의 이해*, 형성출판사, 2007.
[4] S. Consolvo, P. Roessler, B. E. Shelton, A. LaMarca, B. Schilit, S. Bly, "Technology for care networks of elders," *IEEE Pervasive Computing*, 3(2), pp. 22-29, 2004.
[5] R. A. Brooks, "The intelligent room project: cognitive technology," *Proceedings of the 2nd International Cognitive Technology Conference*, pp. 271 - 278, 1997.
[6] S.K. Das, D.J. Cook, A. Bhattacharya, E.O. Heierman, T.Y. Lin, "The role of prediction algorithm in the MavHome smart home architecture," *IEEE Wireless Communicaion*. 9(6), pp. 77 - 84, 2002.
[7] A. Helal, W. Mann, H. Elzabadani, J. King, Y. Kaddourah, and E. Jansen, "Gator Tech Smart House: A programmable pervasive Space," *IEEE Computer Magazine*, 38(3), pp. 50-60, 2005.
[8] 이선우, 김용중, 이기섭, 김병정, "한림 지킴이: 독거노인 일상 활동 원격 모니터링 시스템," *한국정보과학회, 한국정보과학회 논문지*, 15(4), pp.244-254, 2009.
[9] 3GPP2, www.3gpp2.org.
[10] WiMAX NWG WG, "WiMAX Network Protocols and Architecture for Location Based Service," *Part of Network Release 1.5*, Nov. 2007.

[11] IEEE 802.11, http://www.ieee802.org/11
[12] IEEE 802.15.4a, http://www.ieee802.org/15 TG4a.html
[13] IEEE 802.21, http://www.ieee802.org/21
[14] Jee Hyun Choi, Jeongwhan Lee, Hyun Tai Hwang, Jong Pal Kim, Jae Chan Park, Kunsoo Shin, "Estimation of Activity Energy Expenditure: Accelerometer Approach," *27th Annual International Conference of the IEEE-EMBS 2005*, pp. 3830-3833, 2006.
[15] K. Sagawa, H. Inooka, Y. Satoh, "Non-restricted measurement of walking distance," Systems, 2000 *IEEE International Conference on Man, and Cybernetics*, 3, pp. 1847 - 1852, 2000.
[16] InTech, http://www.tinyosmall.co.kr
[17] PerkinElmer Optoelectronics, http://optoelectronics.perkinelmer.com
[18] TinyOS Forum, http://www.tinyos.net
[19] Todd M. Manini, James E. Everhart, Kushang V. Patel, Dale A. Schoeller, Lisa H. Colbert, Marjolein Visser, Frances Tylavsky, Douglas C. Bauer, Bret H. Goodpaster, Tamara B. Harris, "Daily activity energy expenditure and mortality among older adults," *Journal of the American Medical Association*, 266, pp. 171-179, 2007.

저 자 소 개

정 경 권 (정회원)

1998년 : 동국대학교 전자공학과 졸업 (공학사)
2000년 : 동국대학교 대학원 전자공학과 (공학석사)
2003년 : 동국대학교 대학원 전자공학과 (공학박사)
2008년 3월~2009년 8월 : 한림대학교 전자공학과 전임강사
2009년 9월~현재 : 동국대학교 밀리미터파신기술연구센터 연구원
<주관심분야> 임베디드 시스템, 신경회로망, 센서 네트워크 응용

김 용 중 (정회원)

1996년 : 인하대학교 전자공학과 졸업 (공학사)
1998년 : 인하대학교 대학원 전자공학과 (공학석사)
2005년 : 인하대학교 대학원 전자공학과 (공학박사)
2004년 4월~현재 : 한림대학교 전자공학과 전임강사
<주관심분야> 무선통신 시스템, 통신 프로토콜, 네트워크 프로그래밍, 센서 네트워크 응용