

시각장애인 유도 로봇의 자기 위치 추적 시스템 및 사용자 인터페이스 개발

유 제 군[†] · 신 동 범^{††} · 권 오 상^{†††} · 김 낙 환^{††††}
이 상 무^{†††††} · 이 응 혁^{††††††} · 홍 승 홍^{†††††††}

요 약

시각 장애인용 유도 로봇을 안전하게 유도하기 위해서는 경로를 검색하기 위해 사용되는 전자지도가 섬세해야 하며 위험한 위치에 대한 정보를 가지고 있어야 한다. 또한 GPS와 INS에 의해 획득한 위치정보를 통하여 안전하면서도 빠른 최단 경로를 검색해야 한다.

본 논문에서는 시각 장애인의 인식 능력의 차이에 따라 시각 장애인에게 경로의 안내 및 위치정보만을 제공하는 이동경로 생성 및 확인을 위한 자기 위치 추적 시스템과 주변 환경정보인식 및 GPS 오차보정기능을 가진 유도로봇과 통합된 시각장애인용 전역항법시스템을 구현하였다. 이 시스템을 통하여 시각 장애인이 비교적 짧은 거리를 이동하고자 할 때 활용할 수 있으며, 실외 환경에서는 GPS의 보조 항법 시스템으로 위치의 보정을 할 수 있음을 알 수 있었다.

키워드 : 자기위치 추적시스템, 유도로봇, 전역항법시스템, GPS, 관성항법시스템.

Development of Localization Tracking System and User Interface of Guiding Robot for the Visually Impaired

Je-Goon Ryu[†] · Dong-Fan Shen^{††} · Oh-Sang Kwon^{†††} · Nack-Hwan Kim^{††††}
Sang-Moo Lee^{†††††} · Eung-Hyuk Lee^{††††††} · Seung-Hong Hong^{†††††††}

ABSTRACT

To guide the guiding robot for the visually impaired carefully, the digital map to be used to search a path must be detailed and has some information about dangerous spots. It also has to search not only safe but also short path through the position data by GPS and INS sensors.

In this paper, as the difference of the ability that the visually impaired can recognize, we have developed the localization tracking system so that it can make a movement path and verify position information, and the global navigation system for the visually impaired using the GPS and INS. This system can be used when the visually impaired move short path relatively. We had also verified that the system was able to correct the position as the assistant navigation system of the GPS on the outside.

Key Words : Localization Tracking System, Guiding Robot, Global Navigation System, GPS, INS

1. 서 론

시각장애인을 위한 유도로봇 및 보행보조기기가 외부환경에서 시각 장애인을 목적지 까지 유도기능을 수행하기 위해

서는 자기위치에 대한 정보가 필수적이다.

자기위치를 추적하기위한 시스템에서는 GPS정보를 활용하고[1-4], 관성항법시스템(Inertial navigation system, INS)을 도입하여 서로의 단점을 보완하는 항법 시스템을 구성하여 보다 정확하고 안정적인 위치정보를 얻는 방법을 활용하고 있다[5-6].

또한 GIS관련 기술을 응용하여, 획득한 위치정보를 좌표 변환을 통하여 맵매칭을 한 후 전자지도상에 자기위치를 추적하는 각종 응용분야에 활용하고 있다[7-9].

본 연구에서는 시각 장애인의 주변 환경에 대한 인식 능력의 차이에 따라 두 부분으로 나누어 구성하였다. 장기간

* 본 연구는 정보통신부의 지원으로 수행되었으며, 2004년 경기공업대학교 교육부지원사업에서 일부 연구비를 지원 받았음.
† 정 회 원 : 한국산업기술대학교 지능형 헬스케어시스템 연구소 주임연구원
†† 준 회 원 : 인하대학교 전자공학과 박사과정
††† 정 회 원 : 한울로보틱스(주) 지능로봇연구소 소장
†††† 정 회 원 : 경기공업대학 컴퓨터응용 제어과 교수
††††† 정 회 원 : 고등기술연구원 로봇/생산기술센터 수석연구원
†††††† 정 회 원 : 한국산업기술대학교 전자공학과 교수
††††††† 정 회 원 : 인하대학교 전자전기공학부 교수
논문접수 : 2004년 12월 3일, 심사완료 : 2005년 6월 1일

혹은 선천적인 시각 장애인의 경우 장기간의 훈련을 통하여 도로환경에서 보행할 수 있는 기본 능력을 가지고 있다. 그러나 사고나 질환으로 돌연히 시각을 잃은 장애인의 경우 주변 환경정보에 대한 인식능력이 극히 저조하다. 따라서 시각 장애인에게 경로의 안내 및 위치정보만을 제공하는 이동경로 생성 및 확인을 위한 자기 위치 추적 시스템과 주변 환경정보 인식 및 GPS오차보정기능을 가진 유도로봇과 통합된 GPS를 사용한 시각장애인을 위한 전역항법시스템을 개발하였다.

GPS에 의한 전역항법 기능은 먼저 GPS모듈을 이용하여 현재 위치에 대한 GPS좌표를 측정한다. 측정된 좌표 값에 근거하여 전자지도에서 해당 위치의 지명을 찾고 목적지까지의 경로를 효율적으로 검색하기 위해 GIS엔진을 사용하였다. 사용자는 현재 GPS 좌표로 GIS엔진을 이용하여 전자 지도를 주기적으로 검색하면서 주행경로를 결정하게 된다.

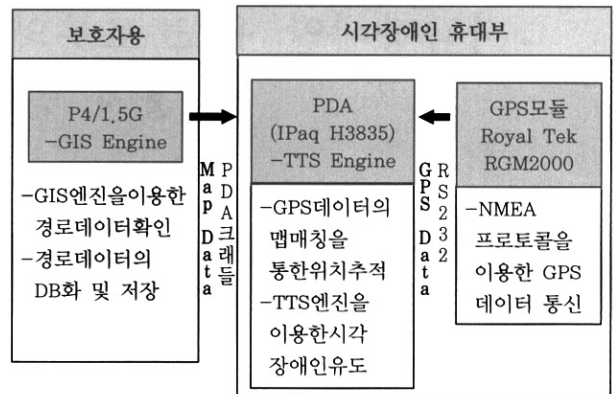
점자 또는 음성에 의한 전역항법 계획 기법은 GIS 엔진을 이용하여 출발지와 목적지까지의 경로를 입력할 수 있도록 DB구조를 파악하여 음성으로 출력하여 시각장애인이 점자 키패드를 통해 입력할 수 있도록 하였다.

GPS의 오차를 보정하기 위해 개발한 관성항법시스템은 비교적 짧은 거리를 이동하고자 할 때 사용할 수 있으며, 실외 환경에서는 GPS의 보조 항법 시스템으로 위치의 보정을 할 수 있음을 알 수 있었다. GPS의 위치 정보와 GIS 맵 데이터를 이용한 이동 경로 생성 및 확인을 위한 자기 위치 추적 시스템과 시각장애인을 위한 전역항법시스템을 개발하여 보다 정확한 시각장애인의 유도기법을 구현 할 수 있었다.

이 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 이동경로 생성 및 확인을 위한 자기 위치 추적시스템에 대한 시스템의 구성과 동작을 기술하고, S/W의 설계기법과 시각 장애인을 위한 최적경로 탐색 및 맵매칭 알고리즘에 대하여 제시하고, 3장에서는 유도로봇과 통합된 GPS를 사용한 시각장애인을 위한 전역항법시스템의 구성과 유도로봇에 장착된 INS, GPS, 엔코더 등 센서의 퓨전을 통한 위치 추적을 구현하기 위하여 확장칼만필터(EKF)를 이용한 위치추적 알고리즘에 대하여 기술하였으며, 4장에서는 자기위치 추적 시스템과 전역항법 시스템을 통한 실험과 결과를 분석하였다. 마지막으로 5장에서는 본 논문의 결론을 논한다.

2. 이동경로 생성 및 확인을 위한 자기 위치 추적 시스템

선천적인 시각장애인의 경우 장기간의 훈련과정을 통하여 휠 지팡이를 이용하여 일반적인 주행이 가능하며 장애물 회피 등을 할 수 있는 능력이 있다. 이런 시각장애인의 경우 현재적으로는 유도로봇의 효용성이 떨어지게 된다. 따라서 본 시스템은 PDA와 GPS만을 사용하여 시각장애인의 이동 경로를 확인하고 경로정보를 안내해 주는 보조시스템으로 유도로봇과 독립적으로 구축하였으며, 유도로봇과 통합이 가능하도록 구현하였다.



(그림 1) 시스템 구성 블록도

2.1 휴대용 자기위치 추적 시스템

전체 시스템은 수치지도를 편집하여 시각장애인을 유도하는데 필요한 경로데이터를 생성하는 PC기반의 보호자용 시스템과 생성된 데이터를 이용하여 실제 유도를 하는 PDA기반의 사용자 휴대부분으로 구성된다. 구성의 개요도는 (그림 1)과 같다.

보호자용 시스템은 GIS엔진인 GDK(GEOMania Development Kit) 2.5를 탑재한 펜티엄 4 PC상에서 개발된 소프트웨어이다. 이 소프트웨어는 시각장애인의 경로를 보다 섬세하게 구성하기 위하여 국립지리원의 1000:1수치지도를 사용하여 경로를 구성하고 PDA에서 사용하게 될 맵정보를 생성하게 된다.

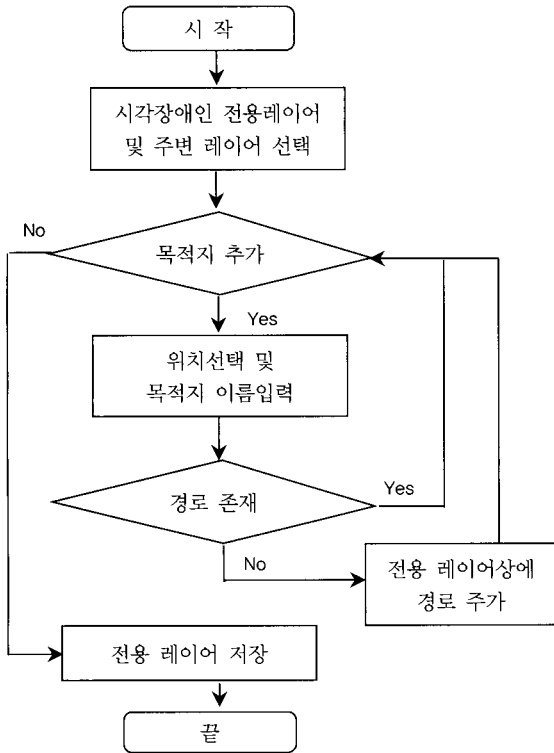
사용자 휴대부분은 TTS엔진을 탑재한 PDA에 RGM2000 GPS수신 모듈을 연결하여 구성한다. GPS정보는 RS232C를 통하여 NMEA(National Marine Electronics Association)방식으로 수신하고 저장된 map 정보에 매칭하여 대한민국에서 사용하는 지도상의 위치를 추출하여 안내정보를 구성하고 TTS엔진을 통하여 음성으로 안내한다.

2.2 시스템 동작 및 SW설계

2.2.1 PC기반의 보호자용 시스템

시각장애인을 유도하기 위해서 우선적으로 수치지도를 이용하여 시각장애인을 유도함에 필요한 경로데이터를 생성해야 한다. 현재 사용하는 수치지도는 정상적인 사용자들을 대상으로 제작된 것이므로 시각장애인의 주행에 필요한 경로를 생성하는 기능을 구현하였다. 유도에 필요한 데이터를 만들기 위해서는 보호자용 프로그램에서 전자 지도를 불러와서 시각장애인을 위해 제작할 레이어를 추가한다. 다음에 보행경로를 연결 한 후, 심볼을 사용하여 목적지를 입력한다. 또한 경로별로 가중치를 조절하여 데이터를 완성하여 시각장애인을 위한 전용 레이어를 완성한다.

일반 차량항법시스템의 경우 도로중심선 레이어가 존재하여 경로탐색에 필요한 그래프정보를 구축할 수 있지만 시각장애인은 이 레이어를 이용하여 경로를 탐색할 수 없다. 또한 정상인을 대상으로 하는 시스템에서는 5000 : 1의 지도를



(그림 2) 보호자용 프로그램 순서도

이용할 수도 있지만 시각장애인의 경우 정확히 인도와 차선, 횡단보도 등을 구분해 줘야 하기 때문에 보다 심세한 1000:1의 수치지도를 사용하여야 한다. (그림 2)는 보호자 프로그램의 흐름도를 보여준다.

보호자프로그램에서 생성된 맵데이터는 시각장애인 레이어의 노드(목적지)와 경로에 대한 정보로 구성된다. 생성된 데이터에서 x, y의 기준좌표는 선택된 지도도엽의 기준 TM 좌표로서 노드와 링크의 좌표값은 기준좌표의 상대 좌표값을 사용하였으며 10만단위의 좌표값을 천단위의 값으로 표시할 수 있다.

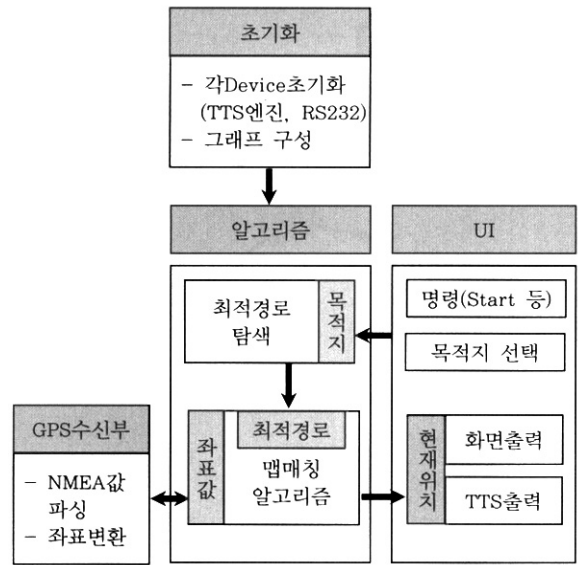
2.2.2 PDA기반의 사용자 휴대용 시스템

PDA기반의 시각장애인용 시스템은 전체 경로의 주행과정에서 1초의 주기로 GPS데이터를 수신하고 맵매칭하여 위치정보를 모니터링하며 경로점(Waypoint)에서 필요한 정보를 음성으로 시각장애인에게 전달한다.

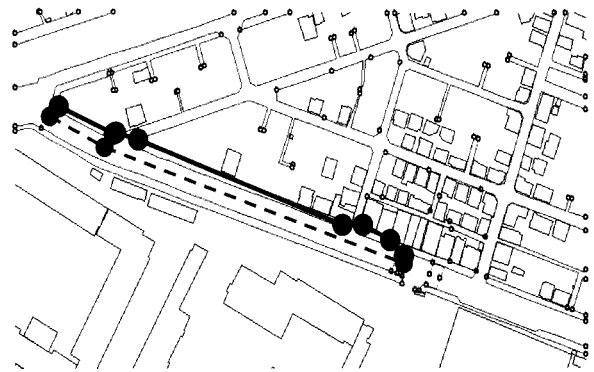
PDA기반의 시각장애인용 프로그램은 (그림 3)와 같이 4개의 부분으로 구성된다.

(1) 경로 탐색용 그래프의 구성 및 ARS 방식을 통한 UI 구현

초기화 과정에서 RS232C를 NMEA프로토콜에서 정의한 4800bps, 1 stop bit, no parity로 초기화하고 TTS엔진으로 로드하여 음성출력 옵션을 정의하고 전역변수를 초기화한다. 또한 보호자용 시스템에서 전송된 맵 데이터를 이용하여 탐색에 필요한 그래프를 구성하는 작업을 한다. 시각장애인의



(그림 3) 시각장애인용 프로그램 구성 블록도



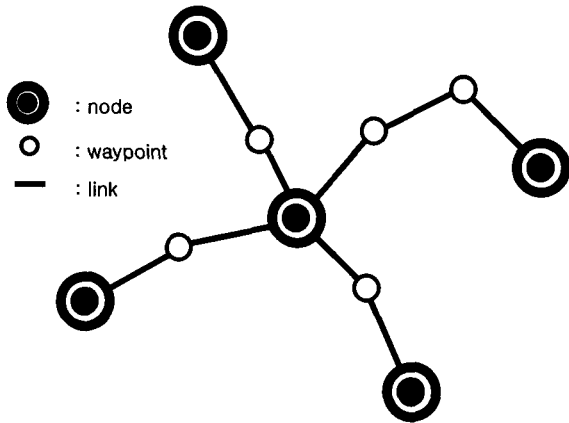
(그림 4) 시각장애인 보행경로

안전한 보행을 위해서는 도로의 상황에 대한 추가적인 정보가 필요하다.

(그림 4)와 같이 점선으로 표시된 하나의 경로라도 시각장애인에게 위험이 될만한 요소들인 골목길이나 횡단보도 등을 감안해서 단순한 두 지점 사이의 직선이 아닌 실선에서 표시된 것과 같은 여러 개의 세부적인 점을 더 구성해야 한다.

따라서 시각장애인이 출발 또는 도착할 수 있는 지점들과 분기점은 각각 노드(Node)로 지정하고, 각 노드와 노드사이의 경로가 직선이 아닐 경우에는 꺾이는 점마다 경로점을 설정해 노드와 경로점 또는 경로점과 경로점 사이는 항상 직선이 되도록 구성한다.

또한 횡단보도, 경로 종류의 변화, 육교, 계단 등을 식별할 수 있도록 각 지점마다 경로점을 구성한다. 각 노드와 경로점들 사이의 경로는 링크(Link)로 지정하여 경로의 거리, 종류, 양끝 연결점 등의 정보를 저장한다. 전자지도를 그래프로 구현하면서 많은 점을 지정하면 경로 결정에 있어서 소요시간이 늘어나게 된다. 소요시간을 줄이기 위해서 경로



(그림 5) 탐색그래프의 구성

<표 1> 링크의 속성 및 가중치값

링크의 종류	링크의 가중치 값
점자보도블럭	0.1
일반 인도	0.2
차선	0.4
횡단보도	0.8
계단 UP	0.9
계단 down	1.0

결정은 노드를 탐색하게 하고, 노드와 노드사이에 있는 경로점들은 정보만 참조할 뿐 경로 탐색 시에는 제외시키도록 하였다. 설계한 undirect weighted graph의 구조 및 링크속성을 (그림 5)와 <표 1>에 나타냈다. 이때 시각 장애인 유도로봇이 주행하기에 가장 쉬운 경로를 낮은 가중치로 두어 점자보도블럭과 일반 인도에서는 0.1과 0.2로 두었으며, 횡단보도와 계단에 대한 가중치를 0.8과 0.9로 정하여 최적 경로 설정 시 주행하기 어려운 경로보다는 쉬운 경로로 주행할 수 있도록 설정하였다.

시각장애인이 목적지의 입력은 점자키보드를 사용하면 가장 이상적이지만 점자언어에 대한 처리가 복잡하고 또 부피가 커지기 때문에 휴대용으로는 부적합하다. 따라서 간단한 ARS방식의 인터페이스를 이용해 목적지 선택과정과 유도과정중의 음성안내로 구성하였다.

(2) GPS정보를 통한 위치 추적

GPS수신부는 NMEA프로토콜을 이용하여 GPS의 위치정보를 추출하는 부분과 좌표변환으로 구성된다. NMEA는 해양 기자재들 간의 통신을 위한 전기적 인터페이스 및 데이터 프로토콜이다. 현재는 NMEA-0183이 사용되고 있다.

GPS수신패킷 데이터는 수신기의 종류에 따라 수십 가지의 문장이 있지만 본 연구에서는 GPS위치정보의 정확도에 관련된 GPRMC(Recommended Minimum Specific GNSS Data)를 통해 위치 정보를 얻고, GPGSA(GNSS DOP and Active Satellite)의 HDOP와 VDOP 그리고 GPGSV(GNSS Satellite in View)의 SNR 정보를 종합 분석하여 사용하였다.

GPRMC의 내용은 일반적으로 항법에 필요한 데이터 항목을 모두 가지고 있다. 특히 두 번째 항목인 UTC Time과 열 번째 항목인 UTC Date를 연산하면 완전한 날짜와 시간을 얻을 수 있다. 단 세계 표준시이므로 대한민국에서는 9시간을 더해 주어야 한다.

GPGSA와 GPGSV는 항법정보에 필요하다기 보다는 GPS의 수신 상태를 점검하는데 주로 이용된다. GPGSA에서 PDOP, HDOP, VDOP는 위성의 측위 오차에 관한 항목이다. 수신기에서 4개 이상의 위성이 감지되더라도 수신기는 PDOP이 최소인 위성 4개의 배열을 잡아 위치를 계산해 낸다. PDOP은 수신기 위치를 꼭지점으로 각각의 위성이 이루는 사각뿔의 체적에 반비례한다. 체적이 큰 경우가 측위 오차가 적게 되는데 이는 위성이 널리 퍼져 오차가 상쇄되기 때문이다. 수직방향은 그러한 상쇄되는 면이 없기 때문에 수평오차보다 크게 된다. VDOP는 수직오차를 HDOP는 수평오차를 말한다. PDOP는 (식 1) 같은 관계가 성립하며 최적값은 1.0으로 대개 6이하이면 사용할 수 있다[13].

$$PDOP = \text{Sqrt}(HDOP*HDOP + VDOP*VDOP) \quad (1)$$

GPS수신패킷의 파싱을 통하여 얻은 위치정보를 대한민국 수치지도에 사용하는 좌표정보로 사용하기 위해 좌표변환 과정이 필요하다. GPS모듈로부터 수신된 GPS경위도 및 고도 (λ, ϕ, h) 좌표를 WGS84지구중심좌표 (X, Y, Z)로 변환 과정을 거친다, 또한 대한민국에서 사용하는 Bessel지구중심좌표계로 변환하는 과정은 Molodensky-Badekas 모델을 사용하였다. (식 2)와 <표 2>는 Bessel좌표계의 변환모델과 대한민국에서 사용하는 매개변수의 리스트이다[14].

인천 인하대학 교내의 수준원점인 지점에서 측정하여 리스트 중의 c)를 사용할 경우에 10cm~20cm미만의 오차 결과를 얻을 수 있었다. 하지만 이 값들은 지역에 따라 10cm에서 수 미터의 오차가 발생할 가능성이 있기 때문에 지역별로 보정이 필요하다.

<표 2> Bessel지구중심좌표계 변환과정 및 매개 변수

dX, dY, dZ, u, ϕ , κ , ΔS 순서임	
a)	128.535, -482.401, -664.745, 2.2004, 0.2038, -3.483, -0.3281: Molodensky
b)	199.538, -467.589, -607.207, 2.2004, 0.2038, -3.483, -0.3281: Bursa
c)	127.046, -478.916, -665.615, -2.156, -2.341, 1.714, -5.626 (10cm에서 수m의 오차가 발생-보정필요)
d)	146.44, -507.89, -681.46, 0, 0, 0, 0 : 측량 작업 규정
e)	147, -506, -687, 0, 0, 0, 0 : 미국프로그램, Tokyo datum, south Korea
f)	105.627, -462.37, -643.258, 0, 0, 0, 0 : GPS Korea
h)	기타 128, -481, 664, 0, 0, 0, 0 147±2, -500±2, 687±2, 0, 0, 0, 0 148±20, 507±5, 685±20, 0, 0, 0, 0

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} dX \\ dY \\ dZ \end{bmatrix} + (1 + \Delta S) \begin{bmatrix} 0 & -x & \phi \\ -x & 0 & \omega \\ \phi & \omega & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix} \quad (2)$$

- X, Y, Z : 신좌표계
- x, y, z : 구좌표계
- dX, dY, dZ : 좌표계 기준원점간의 이동량벡터
- ω, ϕ, x : 각각 x, y, z 에서의 회전각
- ΔS : 축척차

(3) 최적경로 탐색 및 맵매칭 알고리즘

휴대용 시스템의 사용자 인터페이스에서는 입력된 목적지 번호에 따라 초기화과정에서 탐색 그래프를 생성한다. 생성된 그래프에서 최적경로 탐색과정을 거쳐 현재 위치로부터 목적지까지의 가장 최적한 경로에 대한 경로점의 리스트를 구하고, 맵매칭 알고리즘을 통하여 GPS수신부의 위치정보를 지도에 정합시켜 안내정보를 생성한다.

구성된 경로상에서 시각장애인의 최적경로를 찾는 문제는 시간분잡도가 지수 크기를 갖는 NP-Complete 문제이다. 따라서 이런 문제는 노드의 개수가 그리 크지 않을 경우에 해를 구할 수 있는 문제이다.

퇴각 검색법은 임시퇴각법, 혹은 뒤추적법 이라고도 불리는 알고리즘 설계 방식이다. 퇴각 검색법의 대상이 되는 문제의 유형은 보통 주어진 조건을 만족하는 최적해를 찾거나 또는 주어진 조건을 만족하는 해들의 집합을 찾는 문제가 된다.

시각장애인의 보행 최적경로를 결정함에 있어서 안전을 위해 경로의 종류에 따라 우회하는 방법을 선택해야 한다. 그래프에서 링크에 저장된 정보 중 경로의 종류로는 점자보도블럭이 있는 인도, 점자보도블럭이 없는 인도, 인도와 차도의 구분이 없어 사람과 차량이 같이 다니는 길, 횡단보도, 계단, 육교가 있다. 이러한 각각의 경로에 시각장애인의 보행에 위험한 정도에 따른 가중치를 다르게 설정하여 같은 거리이면 보다 안전한 경로를 선택하도록 하였다. 또한 퇴각검색 알고리즘을 이용하여 최적거리를 탐색하되 탐색 중 시각장애인에게 위험한 경로가 있을 경우 다른 경로를 탐색하여 우회할 수 있도록 하였다.

퇴각검색 알고리즘은 대부분의 문제에 대해서 최악의 경우 시간 분잡도는 지수 크기를 갖게 된다. 지수시간이 소요되는 문제(주로 NP-hard 문제)의 경우 입력 크기가 어느 정도로 증가되면 퇴각 검색 알고리즘으로도 납득할 수 있는 시간 안에 풀다는 것이 어렵다. 하지만 시각장애인이 경로를 탐색함에 있어서 이동범위가 제한되어 구성된 그래프상의 노드개수가 많지 않기 때문에 퇴각검색 알고리즘을 이용하여 효과적으로 최적경로를 탐색할 수 있다.

위치 정합을 위한 방법으로는 point-to-curve 정합 방법을 사용한다. Point-to-curve 정합 방법은 수신한 위치로부터 각 도로의 호(arc)까지의 거리를 계산해서 가장 가까운 호(arc)로 투영하는 방법으로 계산량이 많지 않기 때문에 속도가 빠르고 구현이 쉽다는 장점을 가지고 있으며 보행자를 위한 위치 정합에 있어서 기존의 다른 알고리즘보다 적합하다.

(식 3)은 한 점 c와 라인 A간의 최소 거리를 구하는 식이

며, 투영되는 위치는 점 c로부터 라인에 수직인 위치가 된다[15].

$$d(c, A) = \sqrt{\frac{[(a_2 - b_2)c_1 + (b_1 - a_1)c_2 + (a_1 b_2 - b_1 a_2)]^2}{(a_2 - b_2)^2 + (b_1 - a_1)^2}} \quad (3)$$

- $\{\lambda a + (1 - \lambda)b, \lambda \in R\}$: 점 a와 점 b를 통과하는 라인, A
- a_1 : 점 a의 x값, a_2 : 점 a의 y값
- b_1 : 점 b의 x값, b_2 : 점 b의 y값
- c_1 : 점 c의 x값, c_2 : 점 c의 y값

또한, 투영된 점이 세그먼트의 외부에 위치하면 (식 4)를 만족하며, 반면, 세그먼트의 내부에 위치하면 (식 5)을 만족하게 된다.

$$\max \{d_1, d_2\} > d_3 \quad (4)$$

$$\max \{d_1, d_2\} < d_3 \quad (5)$$

- d_1, d_2 : 한 점으로부터 투영된 위치와 세그먼트의 시작점과 끝점까지의 거리
- d_3 : 세그먼트의 시작점에서 끝점까지의 거리

그러나, 기존의 point-to-curve의 정합방법은 기존의 위치 정보와 정합된 정보를 사용하지 않으므로써 두 가지의 문제점을 발생시킬 수 있다. 우선 교차로 등의 도로에서 잘못된 정합을 하는 경우가 발생할 수 있다. 다음으로는 불안정성을 들 수 있는데 인접한 두 도로에서 발생할 수 있는 문제점으로 수신한 위치의 오차가 진동할 경우 정합되는 위치 또한 진동하게 된다.

위와 같은 정합법의 문제를 해결하기 위하여 개선된 point-to-curve 정합 방법을 제안한다. 제안하는 방법은 기존의 point-to-curve 정합법과 같이 수신한 위치와 각 도로와의 거리를 계산한다. 수신한 위치에 가장 근접한 도로와의 거리와 두 번째로 근접한 도로와의 거리차가 충분히 클 경우에는 가장 근접한 도로에 실제 사용자가 있는 것으로 판단하여 가장 근접한 도로로 보행자의 위치를 정합 한다.

그러나 그 거리차가 충분하지 않은 경우 진행 방향의 정보를 이용하여 정합 위치를 결정한다. 기존의 진행 방향 정보를 이용한 방법은 GPS로부터 진행 방향의 정보를 수신하여 사용하였으나 본 논문에서는 GPS로부터 수신한 방향 정보를 사용하지 않고 기존의 수신 위치에 대해 최소 제곱 오차를 이용하여 보행자의 진행 방향 정보를 구한다. 최소 제곱 오차는 오차를 포함하고 있는 데이터에 대하여 그 오차를 최소화하는 직선의 방정식을 구하는 방법으로(식 6), (식 7)과 같이 나타낼 수 있다.

$$y = C + Dx \quad (6)$$

$$\begin{bmatrix} 1 & x_1 \\ 1 & x_2 \\ 1 & \vdots \\ 1 & x_N \end{bmatrix} \begin{bmatrix} C \\ D \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} y_1 \\ y_2 \\ \vdots \\ y_N \end{bmatrix} \quad (7)$$

- x_i, y_i : i 번째 수신한 위치, 또는 투영된 위치

최소 제곱 오차를 갖는 직선의 방정식을 구하기 위한 C, D의 값은 (식 8)에 의하여 계산되어진다.

$$A^T A \bar{x} = A^T b \quad (8)$$

- A: N×2행렬, B : N×1행렬
- \bar{x} 는 진행 방향에 대한 기울기와 바이어스 값

이 방법은 도로에 수직인 성분에 대해서만 오차에 대한 수정이 가능하기 때문에 보행자가 계속해서 일정한 방향으로 진행하였을 경우에는 수평 성분에 대한 오차의 수정이 불가능하다. 정합한 위치와 수신한 위치의 오차의 보정은 (식 9)와 같이 나타낼 수 있다.

$$E = \sigma_{\eta M} + \sigma_{\eta m} \quad (9)$$

$$\sigma_{\eta m} = \sigma_{\omega 1} + \sigma_{\omega 2}$$

- $\sigma_{\eta M}$: 도로방향에 수평인 오차
- $\sigma_{\eta m}$: 도로방향에 수직인 오차

여기서, $\sigma_{\eta m}$ 은 지도에서 사용하는 좌표계의 수직과 수평 방향의 성분인 $\sigma_{\omega 1}$ 과 $\sigma_{\omega 2}$ 로 나눌 수 있으며 이를 GPS로부터 수신한 위치에 보정할 수 있다. 또한 사용자가 진행하던 방향과 다른 방향의 도로로 진입하였을 때는 이전에 수신한 위치 오차를 오차의 초기치로 사용하여 오차를 수정한다.

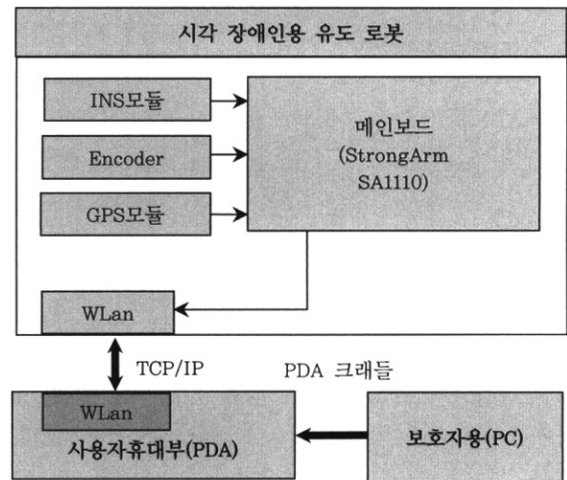
3. 시각장애인용 전역항법시스템

사고나 질병으로 시각을 돌연히 잃은 장애인의 경우 도로의 주변 환경에 대한 인식능력이 저조하기 때문에 보다 정확한 유도가 필요하다. 따라서 이런 시각장애인들은 장애물을 검지하고 회피할 수 있는 보행보조시스템이 필수적이며 보다 정확한 유도과정이 필요하다. GPS를 사용한 시각장애인용 전역항법시스템은 앞에서 개발한 이동 경로 생성 및 확인을 위한 자기 위치 추적 시스템과 유도로봇을 통합한 RTA(Robotic Travel Aids)시스템이다.

3.1 RTA를 적용한 통합 시스템

본 시스템은 유도로봇을 앞에서 설명한 이동 경로 생성 및 확인을 위한 자기 위치 추적 시스템과 통합한 시스템으로서 기본 구성은 (그림 6)의 블록도와 같다. (그림 6)에서 사용자 휴대부는 GPS수신모듈에서 GPS데이터를 얻는 것이 아니라 무선랜을 통하여 유도로봇으로부터 얻게 된다.

시각장애인은 PDA와 유도로봇을 사용하여 목적지까지의 이동을 수행하게 된다. 우선 사용자가 PDA의 ARS시스템을 이용하여 목적지를 선택하고 최적경로를 생성하면 유도과정 이 시작된다.



(그림 6) 시스템 구성 블록도

PDA는 우선 유도로봇으로부터 현재의 위치정보를 수신하여 맵매칭을 수행하여 현재의 위치를 판단한다. 만약 현재의 위치좌표가 최적경로상의 경로점 좌표와 같으면 다음 경로점 좌표와 거리 및 방향을 유도로봇에 전송하고 동시에 사용자에게 음성안내를 한다. 유도로봇은 최적경로상의 경로점에 도착(시작점 포함) 할 때마다 해당 경로점의 좌표값과 다음 경로점까지의 방향정보를 얻게 된다. 유도로봇은 이 좌표값을 기준으로 하여 INS로부터 구한 이동거리와 방향을 위치좌표로 변환하며 GPS로부터 얻은 위치정보와 상호 보정하여 보다 정확한 위치정보를 PDA에 전송한다.

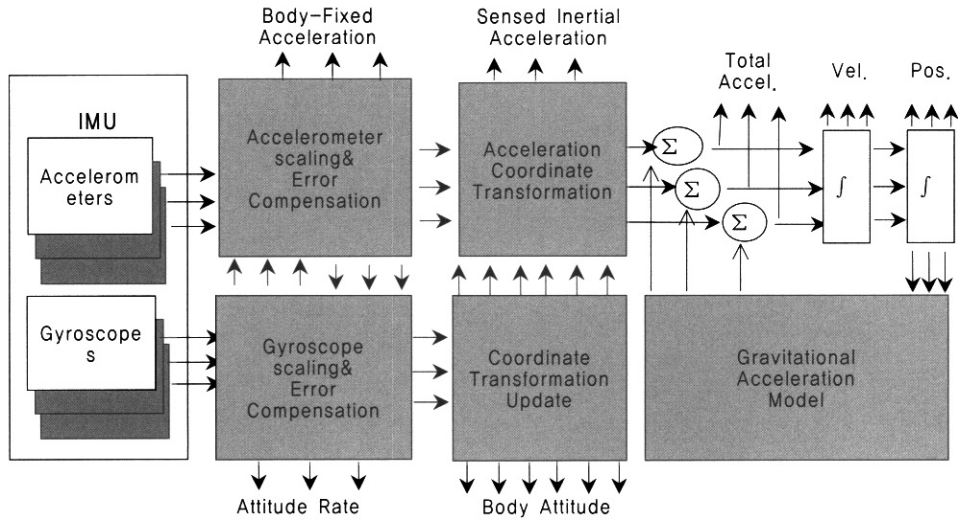
3.2 시각장애인용 RTA시스템을 통한 위치 추적

본 RTA시스템의 목적은 유도로봇의 주처리부에서 INS, 엔코더 및 GPS정보를 이용하여 보다 정확한 위치정보를 추출하는 알고리즘을 구현하고 PDA와 데이터 통신을 구현하여 시각장애인을 안전하게 유도하는 것이다. PDA에서 현재 위치가 경로점일 경우 유도로봇으로 송신되는 데이터의 구조는 경로점까지의 거리, 경로점의 방향, 속성, 그리고 남은 경로점의 개수로 구성한다. 또한, 유도로봇에서 주기적으로 PDA에 전송될 데이터 구조는 로봇이 위치한 위도, 경도, 고도, 로봇이 이동하는 방향, 그리고 이동여부로 구성한다.

3.2.1 보조 관성항법(INS)을 이용한 위치 추적

본 연구에서 자기 위치 추정 기법으로 사용된 GPS는 그 오차가 최대 15m까지 발생하며 실내에서 위치 정보 수신 불가능하다. 따라서 본 연구에서는 관성항법 시스템을 GPS의 보조 항법 시스템으로 사용하였다. INS는 가속도계와 각속도계 등의 관성 센서를 이용하여 로봇의 위치를 추정하는 추측항법의 일종이다.

관성항법 시스템은 크게 관성 센서와 항법컴퓨터의 두 부분으로 나눌 수 있으며 본 연구에서는 관성 센서로 Analog Device사의 가속도계 ADXL202E 와 각속도계 ADXR5150을 이용하였다. (그림 7)은 INS 동작을 나타낸 블록도이다.

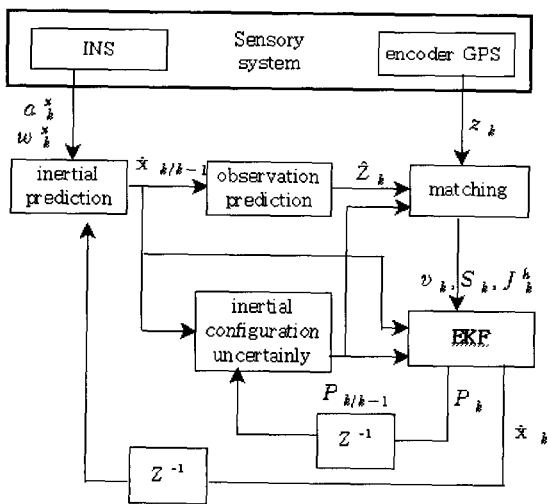


(그림 7) INS 동작 블록도

INS는 동체 좌표계에서 선형가속도계를 사용하여 가속도를 측정하고 중력장 모델링을 통해 중력 g 를 계산한 후, 자이로에서 측정되는 각속도를 통해 구할 수 있는 좌표 변환 행렬을 사용하여 동체 좌표계에서의 가속도를 관성 좌표계 또는 항법 좌표계에서의 가속도로 변환하여 이를 적분함으로써 속도와 위치에 대한 X, Y, Z축의 값을 얻게 된다.

3.2.2 확장칼만필터(EKF)를 이용한 위치 추적 알고리즘

유도로봇에 장착된 INS, GPS, 엔코더 등 센서의 퓨전을 통한 위치 추적을 구현하기 위하여 확장 칼만 필터를 사용하였다. 확장칼만필터는 비 선형시스템을 추정계기기준에 의해 선형화 하는 방식으로서 가장 많이 쓰이는 추정기법이다. 본 연구에서는 유도로봇시스템을 백색 가우시안 잡음을 가지는 비선형 시스템으로 정의하여 확장칼만필터를 적용하였다. 위치 추적시스템의 구조는 (그림 8)과 같다.



(그림 8) 위치 추적시스템의 구조

이 시스템은 확장칼만필터의 시간갱신 및 측정갱신 방정식에 의해 구성 된 것이다. 매 k 시각마다 유도로봇의 역학 모델로부터 상태 예측자 $\hat{x}_{k/k-1}$ 과 예측자의 상호분산 행렬 $P_{k/k-1}$ 를 계산한다. 상태관측자 \hat{z}_k 는 센서시스템으로부터 관측되는 z_k 와 비교하여 v_k 와 상호분산행렬 S_k 갱신하며 확장칼만필터를 통해 상태예측자 \hat{x}_k 와 새로운 상호분산행렬을 구하게 된다.

우선 시각 장애인용 유도로봇 시스템의 상태벡터를 $x=(P^x, P^y, \phi, v, b)$ 로 정의한다. 여기서 v 는 유도로봇의 속도를, b 는 가속도계의 바이어스를 의미한다. 또한, INS의 입력은 $u_k=(a_k^x, \omega_k^z)^T$ 로 정의한다. 여기서 a_k^x 는 이동방향에서의 가속도 값을 ω_k^z 는 샘플링 주기내의 각도 변화율을 의미한다. 상태관측자는 \hat{z}_k^e (엔코더속도 예측), \hat{z}_k^{gps} (GPS위치예측)벡터로 구성된다. 또한, $\hat{z}_k^e, \hat{z}_k^{gps}$ 는 간단히 다음과 같이 정의 할 수 있다.

$$\begin{aligned} \hat{z}_k^e &= h^e(x_{k/k-1}) = \hat{v}_{k/k-1} \\ \hat{z}_k^{gps} &= h^{gps}(x_{k/k-1}) = (\hat{P}_{k/k-1}^x, \hat{P}_{k/k-1}^y)^T \end{aligned} \quad (10)$$

따라서 상태관측자와 해당 상호분산 행렬은 다음 (식 11)과 같이 계산할 수 있다.

$$\begin{aligned} v_k &= z_k - \hat{z}_k \\ S_k &= J_x^h(\hat{x}_{k/k-1}) P_{k/k-1} (J_x^h(\hat{x}_{k/k-1}))^T + R_k \end{aligned} \quad (11)$$

측정잡음은 센서시스템이 상호작용과 환경의 영향을 받으며 시공간에서 불변하는 것이 아니다. 예를 들면 GPS 벡터 R 은 각 시각의 위성개수나 PDOP의 영향을 받게 된다.

EKF 초기에 설정한 예측값들을 수정해 가면서 보다 정

확한 관측자들을 구성해 나간다. 측정갱신 방정식은 (식 12)와 같이 구성된다.

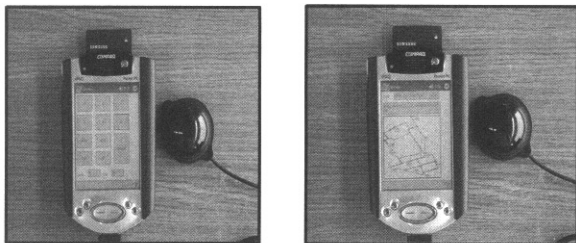
$$\begin{aligned} \hat{x}_k &= \hat{x}_{k/k-1} + K_k[z_k - \hat{z}_k] \\ K_k &= P_{k/k-1}(J_x^h(\hat{x}_{k/k-1}))^T S^{-1} \\ P_k &= P_{k/k-1} - K_k S K_k^T \end{aligned} \quad (12)$$

$J_x^h(\cdot)$ 는 $h(\cdot)$ 의 야코비안 행렬로서 t_{k-1} 시각에서 \hat{x}_{k-1} , P_{k-1} 의 상호분산 행렬이 된다.

4. 실험 및 결과

실험은 전역항법시스템을 탑재한 시각장애인용 유도로봇과 사용자 휴대부를 통하여 각각의 퇴각검색알고리즘을 적용한 최단거리 검색, 맵매칭 알고리즘과 위치 추적알고리즘이 적용된 시스템으로 주행 실험을 통하여 분석하였다.

(그림 9)는 구성된 시각 장애인용 휴대부 외관도이다. (a)는 목지 입력 화면이고 (b)는 가이드 화면이다.



(a) 목적지 입력화면 (b)가이드 화면
(그림 9) 시각 장애인용 휴대부 외관도

또한 (그림 10)은 시각 장애인용 유도로봇으로 다양한 센서들을 탑재하고 있다.



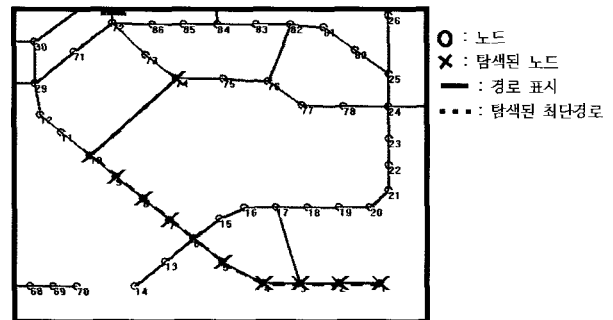
(그림 10) 시각 장애인용 유도로봇 외관도

4.1 최적경로 탐색 알고리즘의 실험 및 결과

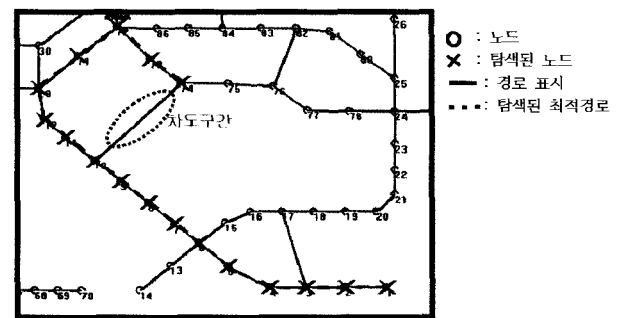
퇴각검색 알고리즘을 적용한 알고리즘을 PC에서 각각 시뮬레이션 해보았다. 실험을 위해 임의의 지도를 제작하여 경로점과 가중치를 부여한 후, 1번 노드에서 14번 노드까지의 경로탐색 과정을 수행하였다. (그림 11)은 최단경로이고, (그림 12)는 시각장애인 알고리즘을 실행하여 얻은 최적경로이다.

(그림 12)에서는 (그림 11)의 거리보다 많이 우회하는 것을 볼 수 있는데 이는 차도구간의 가중치가 일반 인도보다 훨씬 높기 때문이다. 즉 시각장애인의 최적경로는 안전성을 고려하여 차도를 되도록 회피하여 선택하였음을 보여준다.

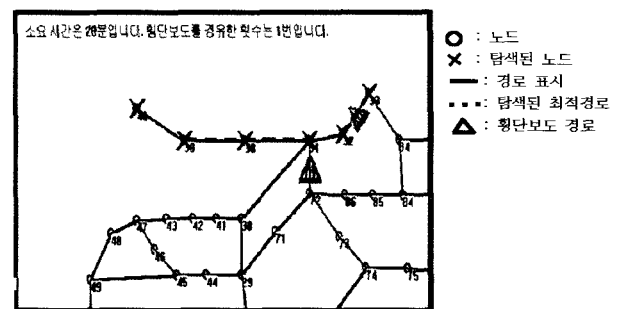
퇴각검색법은 탐색 한계값을 여러 가지 방법으로 지정하여 부동한 개인에게 적합한 경로를 얻을 수 있다. (그림 13), (그림 14)는 일반 가중치값에 의한 최적경로 탐색결과와 횡단보도경유차수를 최소로 한 탐색 결과이다.



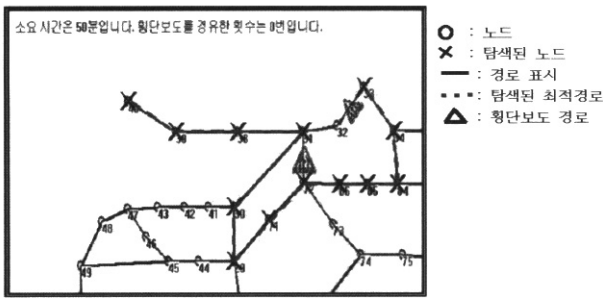
(그림 11) 일반 최단경로 탐색결과



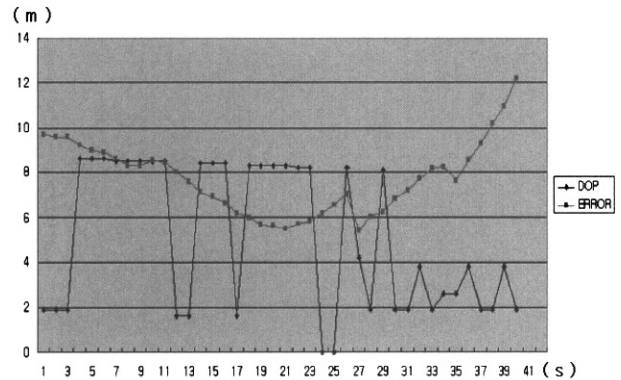
(그림 12) 시각 장애인의 최적경로 탐색결과



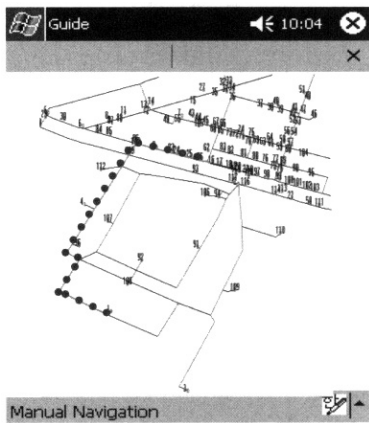
(그림 13) 일반 가중치값에 의한 최적경로 탐색결과



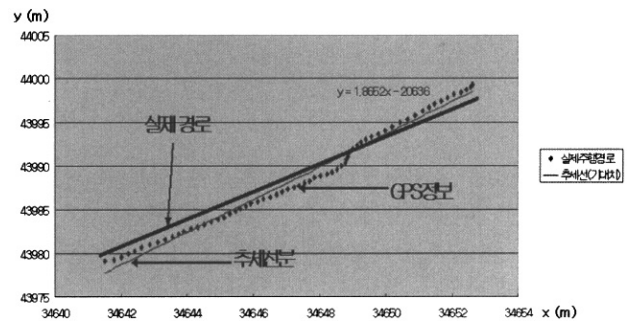
(그림 14) 횡단보도 최소경유경로 탐색결과



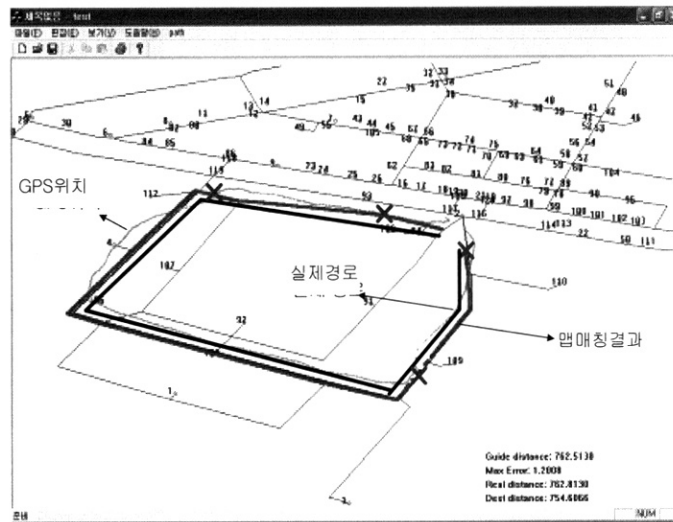
(그림 16) 직선 주행과정의 오차 및 PDOP변화



(그림 15) PDA에서의 최적경로탐색 결과



(그림 17) 추세선을 이용한 선분 매칭



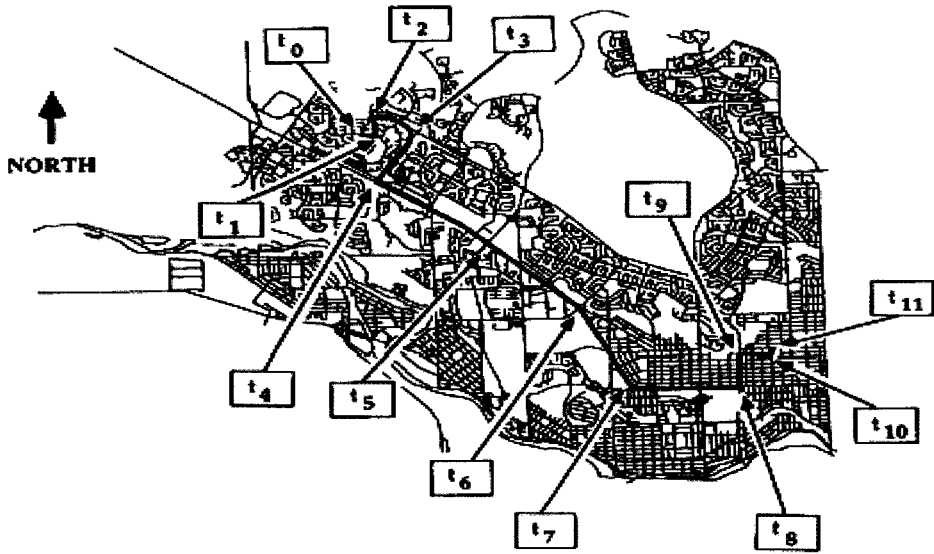
(그림 18) 시뮬레이션 결과

(그림 15)는 인하대학교 교내의 지도로써 1번 노드의 본관 입구에서 26번 노드의 편의점 입구까지의 실제 PDA상에서 최적경로를 탐색한 결과 화면이다.

특히 시각 장애인에게는 같은 거리와 가중치의 길이라도 여러 번 방향을 바꾸는 길 보다는 직선의 길이 안전하므로 최적경로 검색 시 왼쪽 방향으로의 경로를 탐색하였음을 보여준다.

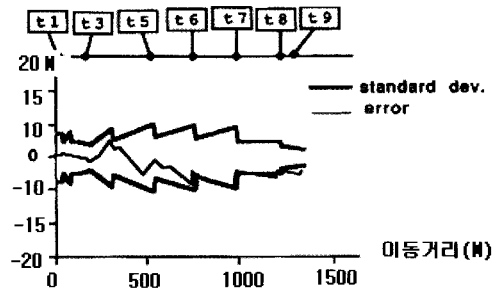
4.2 맵매칭 알고리즘의 실험 및 결과

알고리즘의 평가를 위하여 실제 주행과정에서 GPS 데이터를 수집하고 처리과정을 구현해 보았다. (그림 16)은 실제 주행구간에서 40초 동안의 PDOP의 변화와 GPS위치정보와 실제 위치사이의 오차를 보여준다. 최대 9m정도의 오차를 포함하고 있음을 알 수 있다. 하지만 (그림 17)과 같이 실제 추세선을 보면 실제경로를 추종하고 있음을 알 수가 있다.



(그림 19) 실험용 주행경로

(그림 18)은 시각장애인용 유도로봇이 실제경로를 따라 주행하면서 PDOP의 변화율을 고려한 이동추세선분의 매칭과 point-to-curve 위치정합을 통합한 알고리즘을 적용하여 맵매칭한 결과를 나타낸다. 결과에서 GPS에 의해 수신된 위치의 변화가 크지만 거시적인 이동추세정보를 이용하여 보정이 가능하였다. 다만 X표를 한 몇 곳에서 다른 경로에 매칭을 하는 경우가 발생하였는데 이는 GPS정보를 수신하지 못하거나 혹은 경로점이 높은 건물의 영향을 받을 경우 발생하였다.

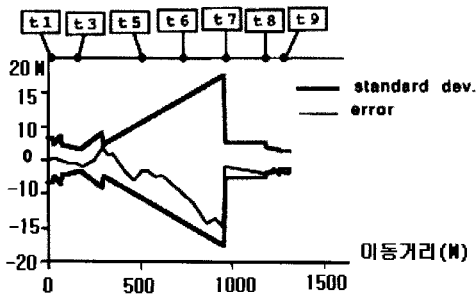


(그림 21) EKF 알고리즘을 사용했을 때의 거리오차

4.3 위치 추적 알고리즘의 실험 및 결과

설계된 위치 추적알고리즘에 대한 실험은 (그림 19)와 같은 주행경로를 선택하여 데이터를 GPS 및 INS데이터를 수집한 후 12개의 시각을 선택하여 위치의 정확도를 분석하였다.

(그림 20)는 GPS만을 사용하였을 경우의 결과이다. 결과에서 보면 경로의 주변 환경의 변화에 따라 GPS위치정보는 오차가 최대 17m가 된다. (그림 21)에서는 GPS와 INS를 통합한 확장칼만필터 알고리즘을 사용하였을 경우 오차의 범위는 10m 이내로 줄어들었고 변화의 폭도 일정함을 볼 수가 있다.



(그림 20) GPS정보의 오차

5. 결론

본 연구에서는 이동 경로 생성 및 확인을 위한 자기 위치 추적 시스템의 맵매칭 및 안내기능과 유도로봇의 INS/GPS 시스템을 통합하여 보다 정확한 시각장애인의 유도기법을 구현하였다. 개발된 시스템은 단순히 맵매칭을 이용할 때보다 GPS의 위치오차를 보다 정확하게 보정하여 위치인식기능이 현저히 향상되었지만 불규칙한 GPS의 오차를 완전히 제거할 수는 없었다. 그러나 유도로봇의 환경인식기능을 이용한 도로의 환경정보를 통합하면 오차를 줄일 수 있을 것이다.

따라서 본 연구에서 구현된 시스템을 통하여 시각장애인을 안전하게 유도하는데 유용하게 사용될 수 있으며, 지능형 서비스 로봇 및 노약자 장애인을 위한 로봇 제어 기술로 활용될 수 있을 것이다.

참고 문헌

[1] B.W. Parkinson, 'Global Positioning System: Theory and Applications', Vol.I, AIAA, Inc., 1996.

[2] P.H. Danad, Global positioning system overview, University of Texas, 1994.

[3] Alfred Leick, "GPS Satellite Surveying," John Wiley & Sons, INC., 1995.

[4] National Marine Electronics Association, 'NMEA 0183 Standard For Interfacing Marine Electronic Devices Version 2.20', January 1, 1997.

[5] Jay A.Farrel & Matthew Barth, The Global Positioning System & Inertial Navigation, McGraw-Hill, 1999.

[6] R.L. Greenspan, "Inertial navigation technology from 1970-1995," Navigation: journal of the Institute of navigation Vol.42. No.1, pp.165-185, 1995.

[7] 남상우 외, "방향성을 고려한 우편경로 최적화시스템의 최단 경로생성 알고리즘 연구," 한국 정보처리학회 논문지 제 4권, pp.491-498, 1997.

[8] 유복모 외, "차량항법을 위한 GPS 위치 정확도 향상에 관한 연구," 대한 토목학회지, pp.565-568, 2001.

[9] 임찬혁, "GPS와 전자도로지도를 이용한 보행자 위치 인식 알고리즘," 고려대학교 컴퓨터학과 석사학위 논문, 2002.

[10] J. S. Kim, "Node based map matching algorithm for car navigation system," in Proceedings of the International Symposium on Automotive Technology and Automation, pp.121-126, 1996.

[11] R.M. Rogers, "Kalman Filter inertial navigation system error model based on filter stability consideration," AIAA-94-3547. CP, pp.65-70, 1994.

[12] Brown and Hwang, Introduction to random signal and applied kalman filtering, John wiley & Sons, 1997.

[13] Standard for Collecting Mapping Grade Global Positioning System Positions, Arkansas Legislative Subcommittee, 2001.

[14] 권대원, 윤홍식, 최재화, "7-매개변수 좌표변환에 의한 우리나라 측지계와 WGS-84의 좌표변환," 한국측지학회지, 제13권 2호, pp.117-124, 1995.

[15] David Bernstein, Alain Kornhauser, An Introduction to Map Matching for personal Navigation Assistants, New Jersey TIDE Center, 1996.

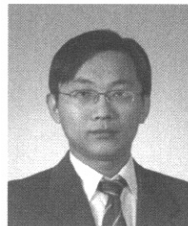
유 제 군



email : doctory@empal.com
 1999년 인하대학교 전자공학과(공학사)
 2004년 인하대학교 대학원 전자공학과
 (공학석사)
 1999년~2001년 메카정보통신(주)
 주임연구원

2004년~현재 한국산업기술대학교 지능형헬스케어시스템 연구
 소 주임연구원
 2005년~현재 한국산업기술대학교 강의교수
 관심분야 : 지능형 로봇 알고리즘, 로봇비전, 임베디드 시스템 등

신 동 범



e-mail : shiner819@naver.com
 1994년 중국 연변대학 컴퓨터응용학과
 (학사)
 2001년 한국 인하대학교 전자공학과
 (공학석사)
 2001년~현재 한국인하대학교 전자공학과
 박사과정
 관심분야 : 지능형 로봇

권 오 상



e-mail : oskwon@robotics.co.kr
 1990년 인하대학교 전자공학과(공학사)
 1992년 인하대학교 대학원 전자공학과
 (공학석사)
 1999년 인하대학교 대학원 전자공학과
 (공학박사)

1992년~1996년 대우중공업 중앙연구소 주임연구원
 1999년~2000년 건양대학교 강의교수
 1999년~현재 한울로보틱스(주) 연구소장
 관심분야 : 실시간시스템, 인간로봇 상호작용, 지능 로봇 알고리즘

김 낙 환



e-mail : nhkim@kinst.ac.kr
 1986년 인하대학교 전자공학과(공학사)
 1988년 인하대학교 대학원 전자공학과
 (공학석사)
 2001년 인하대학교 대학원 전자공학과
 (공학박사)

1988년~1999년 만도기계(주) 중앙연구소(선임연구원)
 2001년~현재 경기공업대학 컴퓨터응용제어과 조교수
 관심분야 : 생체신호처리, 재활공학 및 의용전자, 마이크로프로
 세스응용, 자동차전장

이 상 무



e-mail : lsm@iae.re.kr
 1987년 서울대학교 제어계측공학과(학사)
 1989년 서울대학교 대학원 제어계측공학
 과(석사)
 1999년 서울대학교 대학원 전기공학부(박사)
 1989년~1994년 대우중공업(주) 주임연구원

1995년~2000년 고등기술연구원 책임연구원
 2001년~2002년 한국산업기술대학교 겸임조교수
 2001년~2004년 아이엠티(주) 연구소장
 2003년~2004년 고등기술연구원 수석연구원(겸)
 2005년~현재 고등기술연구원 수석연구원
 관심분야 : 이동로봇, 보행보조로봇, 지능제어, 초정밀로봇 위치/
 힘제어 등

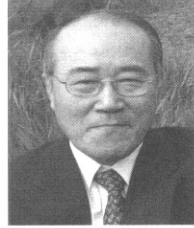
이 응 혁



e-mail : ehlee@kpu.ac.kr
 1985년 인하대학교 전자공학과(공학사)
 1987년 인하대학교 대학원
 전자공학과(공학석사)
 1997년 인하대학교 대학원
 전자공학과(공학박사)

1987년~1992년 대우중공업(주) 주임연구원
 1995년~2000년 건양대학교 컴퓨터공학과, 조교수
 2000년~현재 한국산업기술대학교 전자공학과, 부교수
 2001년~현재 장애인재활협회 공학분과 위원
 2002년~현재 로보틱스연구조합 기술정보위원
 관심분야 : 서비스 로봇 제어 알고리즘, 의료기기 및
 재활보조기기, 임베디드 시스템 등

홍 승 홍



e-mail : shhong@inha.ac.kr
 1963년 인하대학교 전기공학과(학사)
 1966년 인하대학교 전자공학과(석사)
 1975년 일본 동경대학교 의용생체공학과
 (박사)
 1981년~1994년 대한전자공학회 이사,
 회장

1992년~1999년 대한전기전자학회 이사, 부회장, 회장
 1983년~1997년 IEEE SeoulSection 이사, 부회장, 회장
 1978년~현재 인하대학교 전자전기공학부 교수
 2001년~현재 한국장애인재활협회 이사
 2002년~현재 부천 경실련 고문
 2003년~현재 인천과학기술혁신학회 회장
 관심분야 : 생체신호처리, 재활공학, 의용화상처리