

## 행동과 공간의 정보화와 안전

### 제1회: 보행자의 위치방위측정과 옥내기하(屋内幾何) 모델링

쿠라다 타케시(藏田 武志)

산업기술종합연구소 서비스공학 연구센터

바코드와 RFID (Radio Frequency Identification)을 이용한 POS (Point-Of-Sales) 시스템의 출현으로 인하여 현실세계에 있는 실제의 '물품(상품이나 부품)'의 유통 정보와 컴퓨터 안에서 계산된 '물품'의 유통 정보와의 상호대응이 효율적인 관리가 가능하게 되어, 소매점이나 외식업체·물류업체에 혁신을 초래하였다. 한 예로서, 서비스 산업에서는, 여러 경험과 직관에만 의존하고 있다는 점이 문제시 되어 왔으나, 이런 정보화가 진행될수록 실제 물품의 유통이나 매매의 상황을 모델화하거나 현장 및 백 야드(Back yard)에서의 오퍼레이션(Operation) 설계를 보다 과학적·공학적으로 할 수 있게 되었다.

한편, 대규모시설과 쇼핑몰에서의 종업원과 고객들이 어느 곳에서 무엇을 하고 있는가의 '사람'에 대한 정보를 파악하는 기술은 아직 부족한 실정이다. 물품의 정보화와 그 효과로부터 추정하여 본다면, 현실세계에 있는 사람의 실제 '행동양상'의 흐름과, 컴퓨터 안에서 계산된 사람의 '행동양상'의 정보의 효율적인 상호대응이 가능하도록 하는 기술의 개발은 또 하나의 혁신을 가져올 것이다.

상기의 예들은 필자 본인의 전공인 서비스공학분야의 일부분을 기술한 것이지만, 방재 분야나 안전부문에 오히려 더 큰 관련성을 가지고 있다고 볼 수 있다. 특히, 일상생활이나 업무에서 사람에 대한 정보화가 가능하게 되어 현장의 상황을 파악하는 기술이 개발된다면, 사람으로부터 기인되는 사고를 예방 및 방지할 수 있는 현장 및 백 야드의 설계를 가속화 할 것이다.

본고의 제1회에서는, 이런 안전 분야에 도움이 될 수 있는 기술로서 사람(보행자)의 위치방위(位置方位)의 측정기술과, 그 측정 정밀도를 향상시키거나 측정데이터를 시각화 하는데 필요한 실내 구조 모델링기술에 대해서 소개한다.

### 1. 실·내외 위치방위(位置方位) 측정기술

위치와 방위를 측정하기 위한 기술은 다양하나, 아쉽게도 그 어느 한 가지 기술로 전체적인 상황을 파악하기는 어렵다. 또한 물건, 사람, 자동차 등의 각각의 대상에 따라 조금씩 다른 기술과 정보가 요구된다. 이런 어려움으로 말미암아 다양한 제안과 개발이 이루어지고 있다. 아래에 기술한 사람의 실내·외 위치방위 측정에 적용 가능한 기술의 특징을, 비용과 기능면에서 정리하여 놓은 것을 [표1]에 나타내었다.

<표1. 주요 위치방위측정방법의 비용과 센싱(Sensing)기능 비교>

구분		코스트				센싱(Sensing)기능			비고
		인프라	DB	단말	계산	옥외 측위	옥내 측위	방위	
(A)GPS		N	L	M	M	H-M	N/A	N/A	인프라 비용에 위성의 비용을 포함하고 있지 않음
(B)LPS	IMES	H	L	M	L	M	H-M	N/A	
	Wi-Fi	M	H	M	L-M	M	H-M	N/A	ID를 이용한 측위와, 전파강도를 이용한 다변측량과의 DB·계산비용, 정밀도가 다름
	RFID	H	M	M	L-M	M	H-M	N/A	
	초음파	H	M	L	L-M	M	H-M	N/A	
	광통신	H	M	M	L	H-M	H-M	N/A	
	감시카메라	M	H	N	H	H-M	H	H	개인 ID를 얻기 위해서는 얼굴인식등이 추가적으로 필요
(C)장착·휴대형 카메라	인공표시점	L	M	M	M	H	H	H	카메라로 영상을 촬영하는데 있어서의 사회수용성에 문제발생
	자연특징점	N	H	M	H	H	H	H	
(D)자장항법(自藏航法)	INS	N	N	H	L	H-M	H-M	H	오차의 축적 발생
	PDR	N	L	M	L-M	H-M	H-M	M	인간의 행동측정에 특화. 행동종류별 인식가능. 오차의 축적 발생
(E)맵매칭 (Map Matching)		N	H	N	H	M	H-M	N/A	
(F)SDF		M	M	M	H	H-M	H-M	H-M	각항목은 퓨전의 방식에 의존

주1 : 비용: N, L, M, H는 각각 비용 없음, 低비용, 中비용, 高비용.

주2 : 각 센서기능 : H, M, N/A는 각각 高정밀, 中정밀, 계측불가.

주3 : 방위 : 정지상태의 측정, 혹은 단거리이동에서의 측정이 불가능할 경우는 N/A로 표기함

- (A) GPS (Global Positioning System)과 같은 복수의 인공위성을 이용한 방법
- (B) 초음파, 전파(RFID), Wi-Fi (Wireless Fidelity), 광통신, 감시카메라 등의 유비쿼터스 기반 센서를 이용한 방법 (이하부터 편의상 LPS: Local Positioning System이라 칭함)
- (C) 장착·휴대형 카메라를 이용한 AR (Augmented Reality) 표시나 자연특징점(自然特徵點)등을 이용한 화상의 기하학적 위치합성 인식방법
- (D) 가속도, 각속도, 지자기(地磁氣), 기압 등을 측정하는 자장(自藏)센서를 이용한 자장(自藏)항법(관성항법장치(INS: Inertial Navigation System), 보행자 데드레코닝(PDR: Pedestrian Dead-Reckoning))
- (E) 맵매칭 기법
- (F) 상기의 모든 방법을 이용한 통합방법(SDF: Sensor-Data Fusion)

(A)의 GPS는 이미 자동차의 네비게이션 장치와 함께 많이 보급되어 있는 장치로서, 휴대전화기 GPS 탑재의무화의 세계적인 추세 및 휴대용 네비게이션 장치 시장의 확대 등의 이유로 앞으로도 위치측정수단의 중요한 역할을 할 것이라 기대된다. D-GPS와 RTK-GPS등에 추가적으로 인터넷을 조합시켜 보다 정밀한 시스템도 제안되고 있다.

GPS의 이점으로는, 광대한 실외공간을 커버가 가능한 반면 인프라정비나 운용비용을 이용자 측에서 부담할 필요가 없다는 점을 들 수 있다. 문제점으로서는 고층건축물, 나무그늘, 실내등의 공간이 차폐(遮蔽)된 장소 등에서는 사용할 수 없다는 점, 전달지연이나 멀티패스 (multipath, 多重波伝送路)등으로 정밀성에 큰 영향을 받는다는 점이 있다. 이러한 문제점에 관련해서는, 위성과 같은 신호를 국소적으로 설치한 의사위성 (Pseudo-satellite, 擬似衛星)이라는 장치를 이용하여, 이용자의 장치를 변경하지 않고서도 위치측정이 가능한 범위를 확대하는 방법도 시도되고 있다. 그러나 현장에서는 멀티패스의 영향은 피할 수 없으며 더욱이 인프라의 정비·운용비용의 문제가 새롭게 발생한다. 단, GPS수신기가 이용 가능한 IMES (Indoor Messaging System: 실내에 설치한 태그로부터 위도경도정보를 직접수신)는, (B)의 ID검지(檢知)를 기반으로 한 방법의 한가지이다.

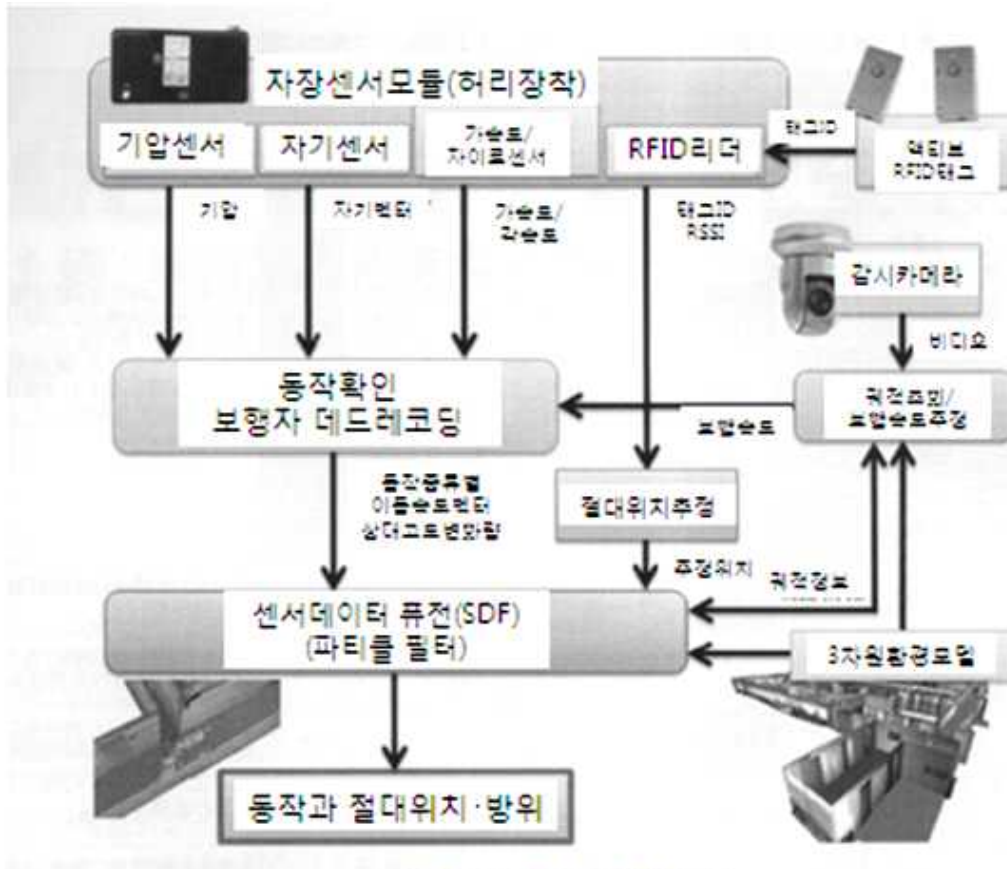
(B)의 LPS의 경우, 송신기와 수신기를 세트로 시스템을 구축하여, 삼변측량의 원리를 이용하거나 단순한 ID검지(ID와 위치정보와의 대응)를 통하여 위치측정이 실현된다.

GPS도 송신기(위성)와 수신기의 세트 구성되나, 많게 잡아도 30개 전후의 위성만으로도 지구 정도의 규모에서의 측위(測位)가 가능하다. 그러나 LPS에서는 측위 센서를 제공하려는 장소에 여러 장치를 설치하기 위한 비용, 설치장치의 ID와 위치와의 상호 대응 등의 데이터 베이스를 생성하거나 관리하기 위한 비용, 설치장치의 개체차(個體差(예: 전파출력특성 등)를 교정하기 위한 비용, 전원공급과 통신망유지를 위한 운영비용 등의 여러 비용을 부담할 필요가 있다. 게다가 이용자 측 장치의 업계표준이 정해지지 않고 있다는 문제점도 있다.

RFID의 경우, 단말코스트가 낮다는 것을 [표1]에서 확인할 수 있다. 이것은, 다음 사항들에 의해서 큰 차이를 보이게 된다. 첫째로 수동식인지 능동식인지에 의하여, 둘째로 인프라 측에 리더를 설치할 것인가(인프라 측에서 네트워크에 정보를 보낼 것인가), 단말기 측을 리더로 할 것인가(단말 측에서 네트워크에 정보를 보낼 것인가)에 따라서도 크게 달라진다. 광범위를 커버하기 위해서는 인프라를 저가로 하여야 하며, 다수의 사람을 대상으로 하는 경우에는 단말기 측(이용자 측)을 저가로 하여야 하기 때문에 그 균형이 시스템의 설계에서 중요한 요인이 된다. 또한 멀티호프(Multi Hop) 통신에 의하여 리더와 기지국의 삭감도 지속적으로 추진되고 있다.

LPS중에서, 현시점에서 가장 실용화가 진행되고 있는 것은 Wi-Fi를 이용한 방법이라고 해도 과언이 아닐 것이다. 소비자 용도에 적합한 것으로서는, 'Place Engine'과 같은 도시지역을 중심에 편재하고 있는 Wi-Fi기지국정보를 수집해 이용하는 방법이 있다. 또한, UWB(Ultra Wide Band)는 멀티패스에도 상대적으로 강하여 정밀성의 향상을 가져올 것으로 기대된다.

(C)의 화상을 이용한 수법으로는, 카메라와 표시점과의 상호대칭에 의한 ID, 위치, 방향을 구하는 방법, 데이터베이스에 축적된 촬영위치·방위의 기존위치 화상군(畫像群)과 입력화상을 비교하여 위치와 방향을 구하는 방법, Visual SLAM(Simultaneous Localization and Mapping) 기술 등에 의해 주위의 작업환경의 3차원구조를 복원하면서 카메라의 3차원운동을 구하는 방법 등이 있다. 최근, Google 스트리트뷰를 통해서 촬영위치·방위의 기존 화상군(畫像群)을 웹으로부터 손쉽게 구할 수 있다. 또한, 다음 회부터 소개하겠지만, 재해지(災害地)의 화상정보와 위치정보를 동시에 수집하는 시도도 이루어지고 있어, 앞으로도 카메라를 이용한 방법은 더욱 중요성을 떨 것으로 기대된다.



<그림1. 센서데이터 퓨전(SDF)의 예>

## 2. PDR과 센서데이터 퓨전

(D)의 자장항법은 크게 INS와 PDR로 나누어진다. 두 가지 모두 장착형 자장(装着型 自藏)센서군(가속도, 각속도, 지자기, 기압 등)의 센서정보를 기반으로 한 자율식(自律式) 추측항법(推測航法)에 해당하며 INS의 경우 대상의 제한 없이 적용 가능하다. 단, 가속도의 이중적분을 이용하는 이유로 짧은 시간 안에 오차가 축적한다는 문제가 있다.

보행자용의 자율식 추측항법인 PDR은, 센서를 발끝에 장착하는 경우와 허리에 장착하는 경우가 있다. 발끝의 경우, 가속도·각속도의 적산(積算)과 보행시의 발이 착지한 시점의 제로속도갱신(ZUPT: Zero Velocity Update)에 의해, 다양한 보행동작(계단, 경사, 횡걸음, 뒷걸음 등)에 대한 각각의 모델을 갖지 않아도 측정이 가능하나, 센서의 장착성, 센서의 내구성, 유지보수필요성 등의 문제가 있다.

허리에 장착했을 경우, 가속도·각속도의 시계열(時系列) 패턴인식을 통해 계산된 보행 속도의 추정 값을 적산(積算)하여 위치를 갱신한다. 장착성, 유지보수성은 보수계(步數計)[만보기]와 같은 수준으로 양호하지만, 위에 기술한 다양한 보행동작의 차와 개인차에 영향을 받지 않기 위해서는 보행모델을 구축, 또는 개별의 보행모델을 획득하여 보행동작의 인식과 보폭추정(步幅推定)을 이용하는 것이 요구된다.

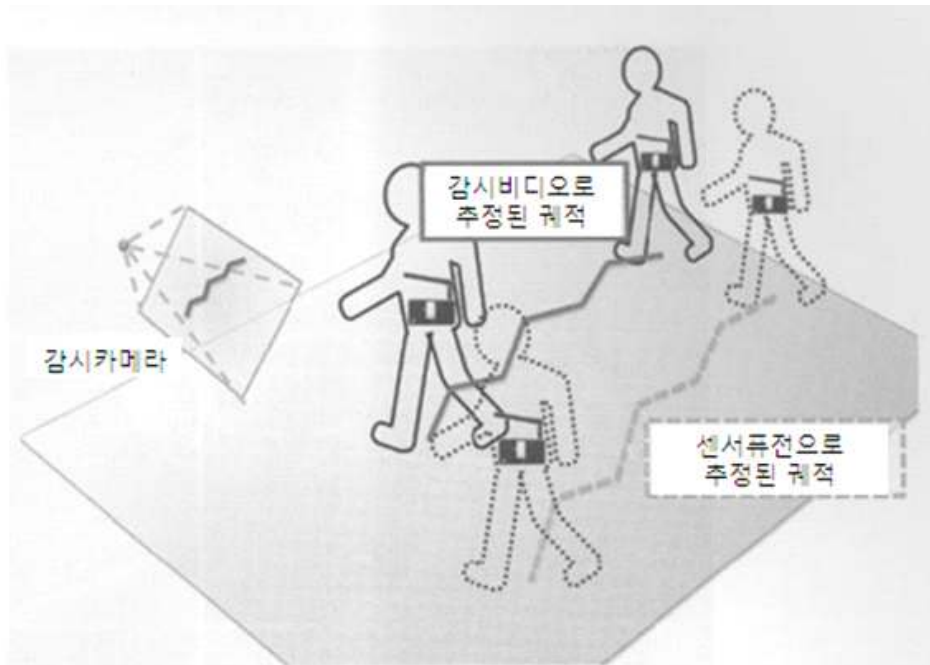
자장항법에서는, 중력방향·각속도·지자기정보를 카르만필터 등으로 조합하여, 자이로 드리프트, 자장의 비틀림과 외란(外亂)요인 등 각 센서의 결점을 보상(補償)함과 동시에 방위정보도 갱신하게 된다. 이와 같이 (D)와 (C)의 방법을 이용하면 측위뿐만 아니라, 방위측정도 가능하게 되어서 보다 상세하게 작업현장과 시설 내에서의 사람의 상황을 파악하는 데에 유효한 기술이라고 말할 수 있다.

(D)의 허리 장착형 PDR의 경우, 위치방위뿐만 아니라, 걷기, 뛰기, 앉기, 눕기, (어느 특정한)작업, 엘리베이터에 타기 등의 여러 동작의 인식을 위한 정보도 센서로부터 얻을 수 있는 장점이 있다. 이런 여러 동작의 식별에는 SVM과 AdaBoost 등의 기계학습 수법이 넓게 적용되고 있다.

하지만, 아무리 자장(自藏)항법의 성능이 향상되더라도 축적오차를 제거하는 것은 곤란하며, 절대위치를 부여할 필요가 있기에 일반적으로 몇 가지의 방법을 상호보완적으로 조합한 통합수단인 (F)를 적용하게 된다. 필자가 개발하고 있는 [그림1]과 같은 조합의 SDF에서는 자장항법에 의하여 과도한 인프라 의존도를 낮춰, LPS에서 필요로 하는 장치의 설치밀도를 줄일 수 있다. 또한, 장착휴대형 카메라를 이용하면 등록 데이터 수와 데이터의 유지비용을 절감할 수 있다.

LPS는 송신기와 수신기의 세트로 시스템이 구축된다고 상기에 기술하였지만, 이와 달리 감시 카메라의 경우는 단말기가 없어도 사람의 위치방위측정이 가능하다. 얼굴인식이나 보폭인식 등의 기술을 적용한다면, 단말기 없이도 어느 정도 사람의 ID를 산출하는 것이 가능하다. [그림2]는, [그림1]에 표시한 SDF의 일부인 PDR과 감시카메라와의 퓨전에 대해 표시한 것이다. 이 경우, PDR 기능을 가진 단말기가 필요하며, 감시카메라가 커버하고 있는 범위 안에서는 PDR의 오차보정(그림3)과 보행모델의 갱신, 추가적으로 영상 안의 사람의 ID취득이 가능하다(그림4). 한편, 감시카메라의 사각지대에 있어서도, PDR에 의한 지속적인 위치방위측정이 이루어지기 때문에, 광범위에서의 사

람의 행동 파악을 실현하는 것이 가능하다.



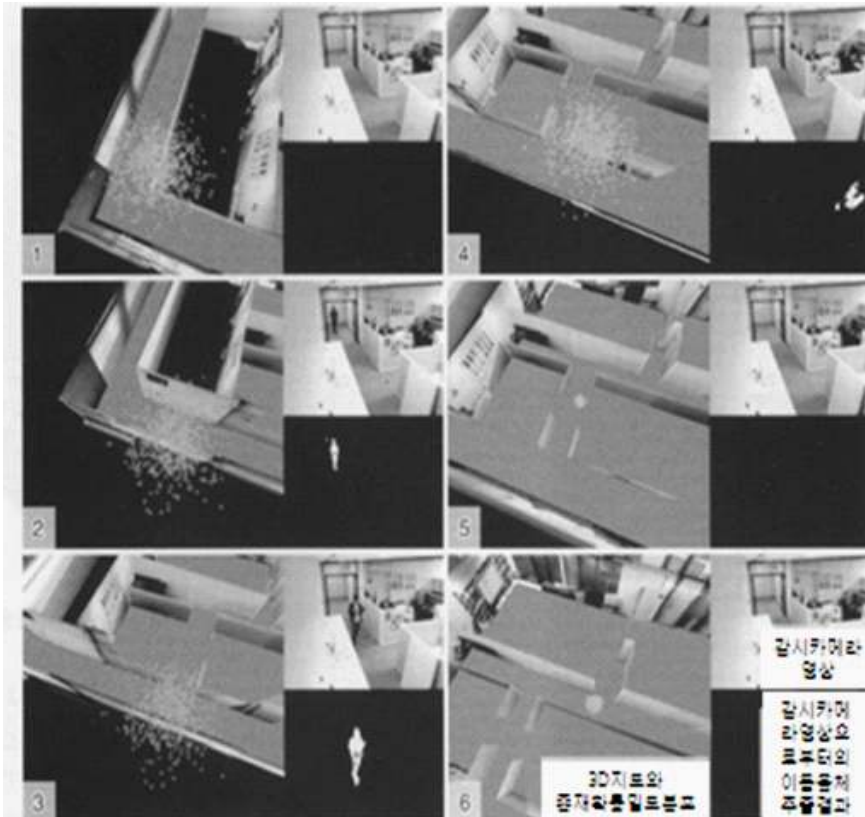
<그림2. PDR과 감시카메라의 퓨전 개념도>

### 3. 실내공간모델링기술

보행자 네비게이션 서비스의 설정루트를 구속조건으로 하는 ‘루트매칭기법’이나, 보행 가능범위를 설정한 지도를 이용한 사람의 존재확률분포에 의한 ‘맵매칭기법’ <그림 1(E)에 기재>을 SDF에 적용하면, 보다 더 정밀성 높은 위치측정이 가능하다. 이런 매칭에 이용되는 정보는, 그 전용으로 만들어야만 하는 경우도 있으나, 3D지도에서 콘텐츠가 정비되어 있으면 재이용하는 것이 가능하여지기 때문에 정보 정비비용은 상대적으로 낮아진다.

이런 3D지도와 같은 콘텐츠는, 네비게이션의 지도로서만 사용되는 것이 아니라 대규모 시설 등의 쇼핑몰에서의 종업원과 고객의 행동관측 및 분석도 가능하게 하여 감시, 위험예측, 서비스 품질향상 등에도 도움이 된다. 옥외에서의 건물이나 간판과 같은 랜드마크가 적은 옥내에서는 <그림3>처럼 방의 전체적인 분위기나 벽면의 텍스처 등의 가상환경을 적용하여 행동과 환경과의 대응관계를 직감적으로 파악하는 것이 용이하다.

사진을 근거로 구축한 가상화 실현환경은, 가상환경을 보다 사실적으로 표현할 수 있게 하여주나, 이런 모델구축에 있어서 아직까지 전문인이 부족한 실정이며 한편으로



<그림3. PRD과 감시카메라와의 퓨전실험 예>

매우 고가의 센싱(sensing)수단을 필요로 하게 된다. 이런 점에서 본 필자는, 이용자가 실내환경의 3D모델을 쉽고 효율적으로 건축할 수 있도록 지원하는 인터랙티브 3차원 모델러를 개발하고 있다.

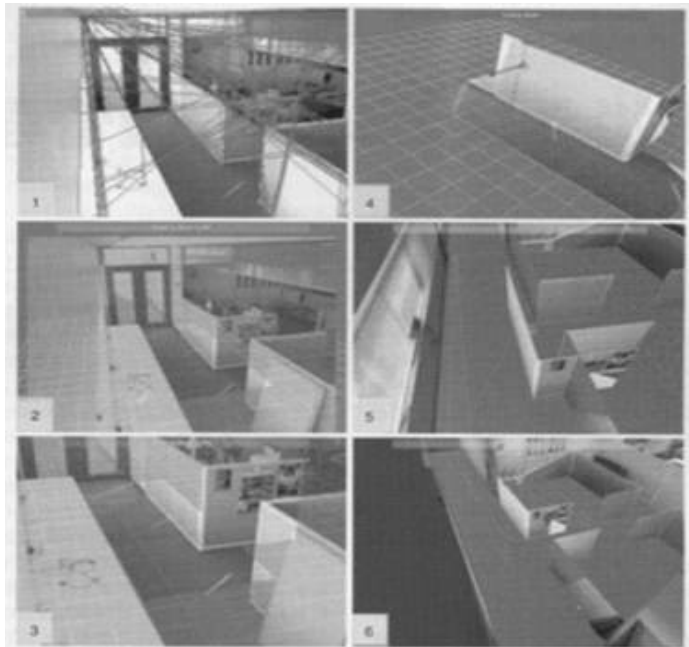
필자가 연구하고 있는 모델러에서는, 이용자는 여러 위치에서부터 촬영된 각각의 사진을 이용한 상호적인 모델링작업에 의하여 보다 효율적인 로컬 모델 작성이 가능하다. 작성된 로컬 모델은, Visual SLAM이나 PDR으로부터의 위치·방위정보 또는 기하학적 구속 등을 이용한 인터랙티브한 작업을 통하여, 광역 실내 환경모델이 되는 글로벌 모델에 간단하게 통합시키는 것이 가능하다. 또한 작성중의 모델에 텍스처결손이 발생한 경우에는, 자동 텍스처 결손 검출과 권장촬영위치 게시에 의한 추가촬영을 유도하여, 텍스처 결손의 방지와 효율적인 촬영을 지원한다.





<그림4. PDR과 감시카메라에서 얻어낸 궤적정보를 통합한 PDR보정과 감시영상에의 자동태그화>

(좌 : PDR 장치를 장착한 작업자, 우: PDR 장치를 장착하지 않은 사람이 통과한 예)



<그림5>는 모델러 상에서 감시카메라에서부터의 영상을 이용하여 로컬 모델을 작성하여, <그림3>과 <그림4>에서 이용된 옥내모델(글로벌모델)에 통합하는 작업의 모습을 나타내고 있다. 이로써 감시카메라에서 촬영되고 있는 장소의 3차원모델이 완성될 뿐만 아니라 그 촬영장소가 시설의 어느 위치에 해당하는지에 대한 파악과 감시카메라의 부착위치 및 방향의 간단한 교정(calibration)까지도 가능하여 진다.

<그림5. 감시 카메라 영상으로부터의 로컬 모델 작성(1-4), 글로벌모델(5-6)의 예>

## 끝으로

제1회의 본고에서는, 사람의 위치방위측정기술과 실내공간모델기술에 대한 필자(연구실)의 연구사례에 대하여 소개하였다, 제2,3회에서는 여러 산업분야에 있어서의 사람과 공간의 정보화 기술이 방재 및 안전 분야에 어떻게 적용되고 있는지에 대하여 소개한다.

---

출처 : 방재시스템 vol 33호 / 일본방재시스템협회

번역 : 위험사업부문 보험업무팀 최재인