

# 옥내측위를 위한 지도정합 실험

임재걸\*, 정승환\*\*, 권기용\*

\*동국대학교 컴퓨터멀티미디어학부

\*\*동국대학교 전자계산학과

e-mail:{yim\*, honourj\*\*, powergky\*}@dongguk.ac.kr

## Experiments of Map-Matching for Indoor Positioning

Jaegol Yim\*, Seunghwan Jeong\*\*, Kiyoung Kwon\*

\*Dept of Computer and Multimedia, Dongguk University

\*\*Dept of Computer Science, Dongguk University

### 요 약

본 논문은 옥내측위 결과에 지도정합 방법을 적용하는 실험 결과를 소개한다. 사용한 지도정합 방법은 측위 결과로 얻은 측정 궤적에 칼만필터를 적용하여 매끄러운 칼만필터궤적을 얻은 다음, 칼만필터 궤적과 이산크레슈거리가 가장 가까운 보행자 통로로 정합한다. 사용한 지도정합 방법의 효율성을 보이는 실험 결과도 소개한다.

### 1. 서론

무선근거리통신망에서 수신신호의 세기를 이용하는 방법[1]은 아무런 특수 장치도 사용하지 않음으로 가장 경제적이지만 정확성이 떨어진다. 따라서 지금까지 옥내측위 관련 연구는 측위의 정확도를 제고하는 목적에 초점을 맞추었다. 그럼에도 불구하고, 무선네트워크 신호의 굴절, 반사, 간섭 등의 이유로 무선근거리통신망을 이용한 옥내측위 방법은 오차가 아직도 비교적 크다.

따라서 지도 정합[2] 방법으로 보행자의 궤적을 지도상의 보행자 통로로 정합하는 작업이 필수적이다. 본 논문은 일련의 측위 결과에 칼만필터[3]를 적용하여 보행자의 궤적을 매끄럽게 한 다음, 지도정합 방법으로 매끄러운 궤적을 보행자 통로로 정합하는 실험 결과를 소개한다.

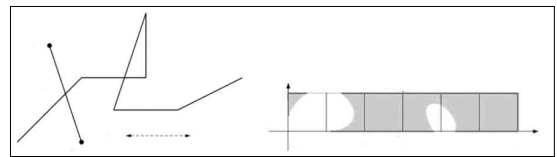
### 2. 지도정합

지도정합 방법은 자동차 항법 시스템 분야에서 GPS 데이터로 구한 자동차의 궤적을 지도상의 도로로 정합하기 위하여 널리 사용된다. 가장 많이 사용되는 지도정합 방법은 프레셰 거리(Frechet distance) 방법이다. 주어진 두 개의 폴리라인(polyline)의 프레셰 거리는 다음과 같이 정의된다. 어떤 사람이 강아지를 데리고 산보를 하는데 사람은 하나의 폴리라인을 따라 걷고, 강아지는 다른 폴리라인을 따라 걷는다. 단, 진행 반대방향으로 걷는 것은 허용되지 않는다. 이러한 경우에 필요한 강아지 목 끈의 최소 길이를 프레셰 거리라 한다.

참고문헌 [2]에는 두 폴리라인과 한계거리가 주어질 때, 두 폴리라인의 어느 부분이 한계거리 이내에 있는지 찾아주는 방법과, 이를 이용하여 두 경로간의 거리를 구하는 방법이 소개된다. 이 방법을 그림으로 설명하면 그림 1과 같다. 그림 1에서 하나의 폴리라인은 6개의 라인(L1, ...,

L6)으로 구성되었고, 다른 폴리라인은 단 하나의 라인(L)이며, 한계거리는 점선으로 주어졌다. 그림 1의 오른쪽에 보이는 사각형은 차례로 L1, L2, ..., L6를 나타내며, 높이는 다른 폴리라인 L을 나타낸다. 흰 부분은 L과 L1, L2, ..., 중 한계거리이내에 있는 부분(자유공간이라 함)을 표시하며, 검은 부분은 한계거리 밖의 부분을 나타낸다.

지도정합에서는 하나의 폴리라인이 궤적에 해당하고, 다른 폴리라인(L)이 도로를 구성하는 한 링크에 해당한다(교차로를 노드라고하고 두 노드를 연결하는 길을 링크라 한다). 또한, 한계거리는 측위 모듈의 오차범위로 정하는 것이 적당하다. 도로망의 각 링크에 대하여 그림 1과 같은 자유공간을 구하여 이웃한 링크끼리 연결하면 좌하 단점에서 우상 단점을 연결하는 단조증가 경로가 주어진 궤적에 가장 가까운 도로가 된다.



(그림 1) 오른쪽 사각형에서 흰 부분이 한계거리 이내인 자유공간임.

### 3. 지도정합 방법 구현

지도정합 방법은 자동차 항법 시스템 분야에서 GPS 데이터로 구한 자동차의 궤적을 지도상의 도로로 정합하기 위하여 널리 사용된다. 가장 많이 사용되는 지도정합 방법은 프레셰 거리 (Frechet distance) 방법이다. 주어진 두 개의 폴리라인(polyline)의 프레셰 거리는 다음과 같이 정의된다. 어떤 사람이 강아지를 데리고 산보를 하는데 사람은 하나의 폴리라인을 따라 걷고, 강아지는 다른 폴리라인을 따라 걷

는다. 단, 진행 반대방향으로 걷는 것은 허용되지 않는다. 이러한 경우에 필요한 강아지 목 끈의 최소 길이를 프레셰 거리라 한다.

프레셰 거리는 라인의 끝점뿐만 아니라 중간점에서도 거리를 구해야 함으로 계산이 복잡하여 본 논문은 이산적인 프레셰 거리를 사용한다. 두 폴리라인의 이산적인 프레셰 거리는 다음과 같이 정의된다.  $P: [0, n] \rightarrow V$ 를 폴리라인이라 하자. 이 폴리라인을 구성하는 각 라인의 끝점들  $(P(0), P(1), \dots, P(n))$ 을  $\sigma(P)$ 로 표기하자. 그러면 두 개의 폴리라인  $P$ 와  $Q$ 의 끝점들을 각각  $\sigma(P) = (u_1, \dots, u_p)$ 와  $\sigma(Q) = (v_1, \dots, v_q)$ 로 표기할 수 있다.  $P$ 와  $Q$ 의 짝  $L$ 은 다음과 같은 성질을 만족하는  $\sigma(P) \times \sigma(Q)$ 의 부분집합으로 구성된 열  $(u_{a_1}, v_{b_1}), (u_{a_2}, v_{b_2}), \dots, (u_{a_m}, v_{b_m})$ 이다. 단,  $a_1 = 1, b_1 = 1, a_m = p, b_m = q$ 이고, 모든  $i = 1, \dots, q$ 에 대하여  $a_{i+1} = a_i$ 이거나  $a_{i+1} = a_i + 1$ 이고  $b_{i+1} = b_i$ 이거나  $b_{i+1} = b_i + 1$ 이다. 다시 말하면  $P$ 와  $Q$ 의 짝  $L$ 은  $P$ 와  $Q$ 의 점들의 순서를 준수한다. 순서쌍  $(u_{a_i}, v_{b_j})$ 이 주어질 때, 점  $u_{a_i}$ 와 점  $v_{b_j}$ 의 거리를  $|u_{a_i}, v_{b_j}|$ 로 표기하며,  $P$ 와  $Q$ 의 짝  $L$ 의 길이는  $L$ 을 구성하는 모든 순서쌍들의 거리 중 가장 큰 것으로 정의하며  $\|L\|$ 로 표기한다. 그러면 두 폴리라인  $P$ 와  $Q$ 의 이산적 프레셰 거리는  $P$ 와  $Q$ 의 모든 짝  $L$ 중에서 가장 짧은 길이로 정의한다.

본 연구에서 구현한 두 폴리라인  $P = (u_1, \dots, u_p)$ 와  $Q = (v_1, \dots, v_q)$ 의 이산적 프레셰 거리를 구하는 알고리즘은 <표 1>과 같다. 이산적프레셰거리는 프레셰거리보다 항상 크거나 같지만, 이 두 거리의 차이는 폴리라인을 구성하는 라인 중 가장 긴 라인의 길이보다 크지 않다는 성질이 있으므로 라인의 길이가 50 센티미터를 넘지 않도록 점을 추가한다(함수 Length\_Check).

이 알고리즘은 동적프로그래밍 전략을 채택하여  $i$ 가 0인 경우와  $j$ 가 0인 경우부터 이산적 프레셰 거리를 구하여  $p \times q$  배열  $D$ 에 저장한다.  $D[i, j]$ 는 다음과 같이 이미 결정된 주변항의 최소값과  $|u_i, v_j|$  (함수 Length)중 큰 값으로 결정한다.

$$D[i, j] = \max(\min(D[i-1, j], D[i-1, j-1], D[i, j-1]), |u_i, v_j|).$$

본 논문이 제안하는 지도정합 방법은 일련의 측정 위치(측정 궤적)에 칼만필터를 적용하여 매끄러운 궤적(칼만필터 궤적)을 구하고, 칼만필터 궤적을 이산적프레셰거리가 가장 짧은 보행자 통로에 정합한다. 지도상에는 매우 많은 보행자 통로가 있는데, 측위의 오차 범위 이내에 있는 통로만 비교한다.

#### 4. 실험

제안하는 지도정합 방법의 효율성을 실험적으로 증명하기 위하여 그림 2-6에 굵은 실선으로 보이는 경로를 따라

0.5미터/초 속도로 걸어가면서 매초 1회 의사결정트리 방법으로[8] 측위한 측정 궤적에 제안하는 지도정합 방법을 적용하였다. 이 그림들은 공용강의실에 임의로 의자를 배치한 도면이며, 4 코너에 보이는 별표는 무선근거리통신망 용 액세스포인트의 위치이다.

<표 1> 두 폴리라인  $P, Q$ 의 이산적 프레셰 거리를 구하는 알고리즘

```

Algorithm 이산적프레셰거리( $P, Q$ )
//  $P = (u_1, \dots, u_p), Q = (v_1, \dots, v_q)$ 

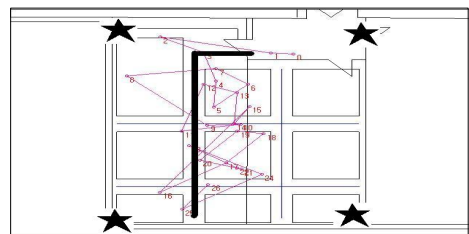
ArrayList PL = new ArrayList();
ArrayList QL = new ArrayList();
Double[,] D = new Double[p,q]; // 배열

PL = Length_Check(P);
QL = Length_Check(Q);

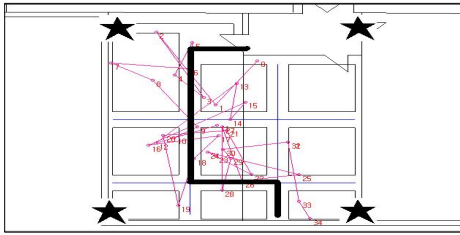
for(i=0; i<p; i++) {
    if (i==0) {
        D[0,0] = Length(PL[0], QL[0]);
        for(j=1; j<q; j++)
            D[0,j] = max(D[0,j-1], Length(PL[0], QL[j]));
    }
    else {
        D[i,0] = max(Length(PL[i], QL[0]), D[i-1, 0]);
        for(j=1; j<q; j++)
            D[i,j] = max(min(D[i-1, j], D[i-1, j-1],
                            D[i, j-1]), Length(PL[i], QL[j]));
    }
}
return D[p,q];
End Algorithm
    
```

측정위치의 오차의 범위를 구하기 위하여 각 경로마다 0.5미터/초 속도로 걸어가면서 매초 1회 측위 하는 실험을 50회 실시하여 각각 50 개의 측위 궤적을 구한 결과를 분석한 결과 오차 범위는 3.797 미터이다.

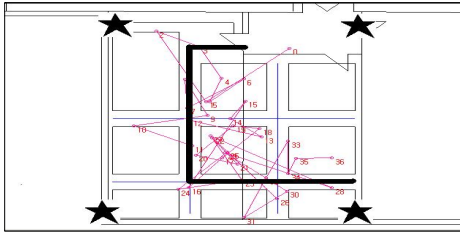
그림 2-6에 번호(0, 1, 2, ...)가 붙은 선은 해당 경로를 0.5미터/초 속도로 걸어가면서 매초 1회 측위 한 결과(측정궤적), 즉 측위 결과를 순서대로 번호로 표시한 것이다. 측정궤적의 평균오차는 그림 7과 같다.



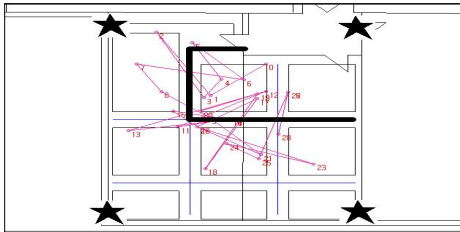
(그림 2) 실험 1의 측위 궤적



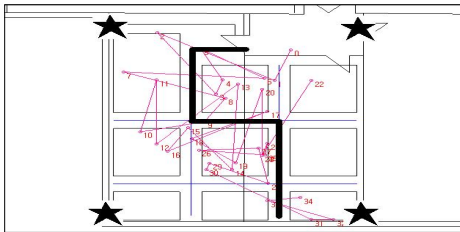
(그림 3) 실험 2의 측위 궤적



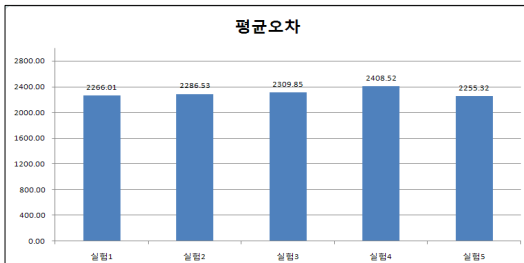
(그림 4) 실험 3의 측위 궤적



(그림 5) 실험 4의 측위 궤적



(그림 6) 실험 5의 측위 궤적



(그림 7) 실험별 측정궤적의 평균 오차

그림 8-12는 그림 2-6 각각에 대한 칼만필터 궤적 및 지도정합 결과를 보인다. 칼만필터 궤적 각각의 평균오차는 그림 13과 같다. 그림 8의 경우, 출발점의 측위위치는 (82199.38, 18070.56)이고 오차범위는 3.797 미터임으로

비교 대상은 그림 14에서  $I_1$ 과  $I_3$  에서 시작되는 24개의 보행자 통로로 표 3과 같다.

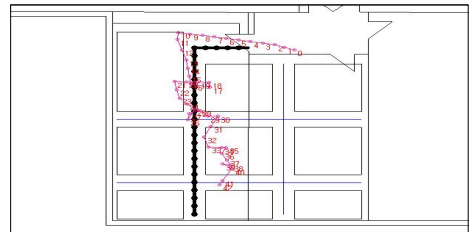
<표 3> 비교대상인 보행자 통로

보행자 통로 index	보행자 통로 경로
보행자 통로1	$I_1 \rightarrow I_2 \rightarrow I_6 \rightarrow I_7$
보행자 통로2	$I_1 \rightarrow I_2 \rightarrow I_6 \rightarrow I_5 \rightarrow I_3$
...	...
보행자 통로24	$I_3 \rightarrow I_5 \rightarrow I_6 \rightarrow I_{10} \rightarrow I_9 \rightarrow I_{12}$

보행자 통로의 이산프레셰거리는 표 4와 같았다. 따라서 그림 8의 칼만필터 궤적은 실제 이동경로인 보행자 통로4로 정합되었다. 비슷한 방법으로 그림 9-12의 경우에도 정확히 정합되었다.

<표 4> 보행자 통로의 이산프레셰거리

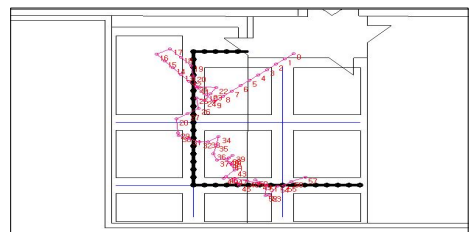
통로 index	거 리	통로 index	거 리
통로1	6.225 미터	통로2	8.174 미터
...	...	...	...
통로23	6.366 미터	통로24	5.131 미터



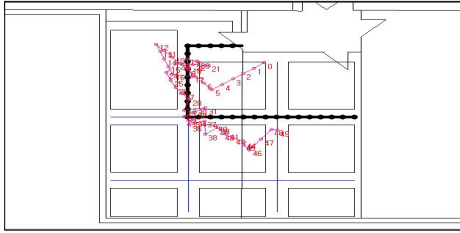
(그림 8) 실험 1의 결과



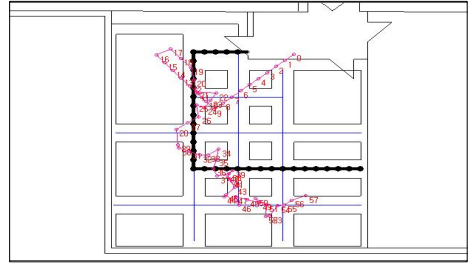
(그림 9) 실험 2의 결과



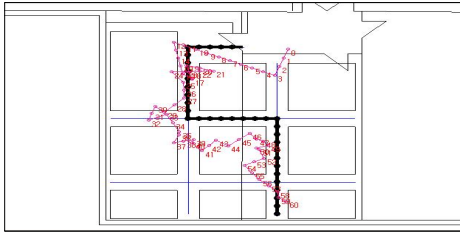
(그림 10) 실험 3의 결과



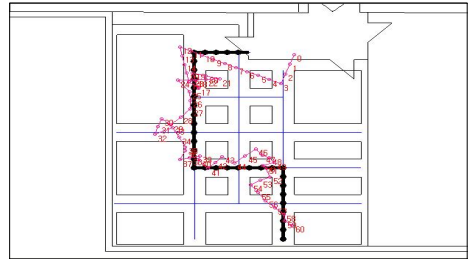
(그림 11) 실험 4의 결과



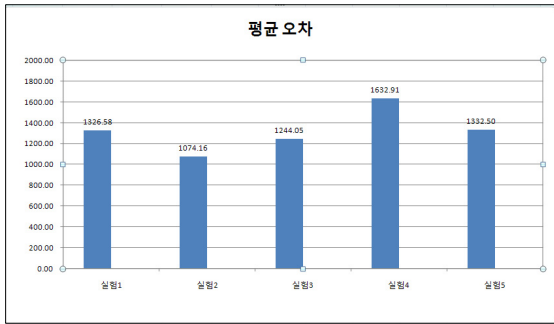
(그림 15) 보행자 통로간격이 2미터일 경우 실험3 결과



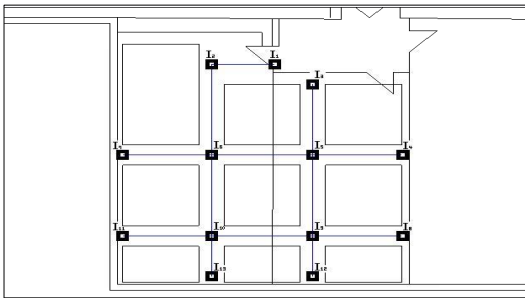
(그림 12) 실험 5의 결과



(그림 16) 보행자 통로간격이 2미터일 경우 실험5 결과



(그림 13) 실험별 칼만필터 궤적의 평균 오차



(그림 14) 보행자 통로

제안하는 방법의 정확도를 측정하기 위하여 보행자 통로 간의 간격을 2 미터로 조정하여 지도정합을 적용한 결과, 직선 위주인 실험 1과 실험2, 실험4는 올바르게 정합되었으나 실험3과 5의 곡선부분에서는 그림 15와 16에 굵은 실선으로 보이는 바와 같이 실제 경로가 아닌 이웃한 다른 보행자 통로로 정합됨을 보였다.

## 5. 결론

본 논문은 옥내 측위로 얻은 측정 궤적에 칼만필터를 적용하여 매끄러운 칼만필터 궤적을 구한 다음, 칼만필터 궤적을 이산프레셰거리가 가장 가까운 보행자 통로로 정합하는 방법을 제안하고, 제안하는 방법의 효율성을 보이는 실험 결과를 소개하였다.

다섯 가지 경우로 각각에 대하여 측위로 얻은 측정 궤적의 오차는 각각 2.266미터, 2.286미터, 2.309미터, 2.408미터, 2.255미터 이었고, 칼만필터 궤적의 오차는 각각 1.326미터, 1.074미터, 1.244미터, 1.632미터, 1.332미터 이었다.

보행자 통로 간의 거리가 4 미터 이상일 때 지도정합 결과는 100% 정확하였으나 2 미터일 때부터 곡선 부분에서 부정확한 결과가 나타나기 시작하였다.

## 참고문헌

- [1] Yim, J., "Introducing a decision tree-based indoor positioning technique," Expert Systems with Applications, Vol. 34, Issue 2, 2008, pp. 1296-1302.
- [2] Maheshwari, A. and Yi, J., "On Computing Frechet Distance of Two Paths on a Convex Polyhedron," EWCG 2005, Eindhoven, March 9-11, 2005, pp. 41-44
- [3] Welch, G. and Bishop, G. "An Introduction to the Kalman Filter," Updated: July 24, 2006, <http://www.cs.unc.edu/~welch/kalman/kalmanIntro.html>