

제한된 GPS정보를 활용한 통행 시간 추정 알고리즘에 관한 연구

유남현*

A Study on Algorithm for Travel Time Estimation using Restricted GPS Data

Nam-Hyun Yoo*

요 약

교통정보서비스에서 정확한 통행량과 통행속도를 산출하기 위해서는 기본적으로 제공되는 GPS 데이터의 품질이 보장되어야 한다. 그렇지만, 통신비용의 문제로 인하여 GPS 데이터를 제공하는 Probe 차량으로부터 제한된 GPS 데이터가 제공이 된다면 정확한 정보를 제공하기 어렵다. 본 논문에서는 제한된 GPS 데이터로 인하여 손실되는 링크들을 위상정보와 결합시켜 복원시킨 후, 통행 속도를 산출하는 알고리즘을 개발하였다. 이를 적용한 S시의 T 교통정보서비스는 이전보다 더 정확한 통행량 및 통행 속도를 시민들에게 제공할 수 있게 되었다.

ABSTRACT

In order to calculate accurate traffic and traffic speed, qualified and sufficient GPS data should be provided. However, it is difficult to provide accurate traffic information using restricted GPS data from probe vehicles because of communication costs. This paper developed a algorithm that recovers links omitted by restricted GPS data with topology information, and calculate traffic speed with original links and recovered links. T traffic information service of city with a new algorithm can provide more accurate traffic and traffic speed than the original system.

키워드

Traffic Information System, Map Mapping, Travel Time Estimation, GPS
교통정보서비스, 지도매칭, 통행시간 추정, GPS

1. 서 론

인터넷 기반 기술과 그와 연관된 다양한 기술들의 엄청난 발전을 기반으로 정부는 국민들에게 공공 정보를 효율적으로 전달하기 위하여 “정부 3.0” 서비스를 시작하였다. 이는 국민들에게 지금까지 축적된 공공정보를 효율적으로 전달하기 위하여 Open API 기

술, 인터넷 기술, 및 빅데이터 기술 등을 활용하여 의미 있는 정보를 전달하기 위하여 구축된 개방된 서비스 프레임워크이다. 이와 같이 정부는 국민들에게 유용한 공공 정보를 제공하기 위하여 다양한 서비스들을 제공해 왔으며, 그 대표적인 서비스 중의 하나가 ITS(Intelligent Transportation System) 서비스이다 [1]. 지능형 교통 체계 서비스는 시민들이 시내버스,

* 교신저자(corresponding author) : 경남대학교 조선해양IT공학과(hyun43@kyugnam.ac.kr)
접수일자 : 2014. 10. 15

심사(수정)일자 : 2014. 11. 21

게재확정일자 : 2014. 12. 15

택시 등과 같은 공공 교통수단이나 자가 차량을 이용하여 시내 주행을 하고자 할 때, 현재 교통의 흐름을 제공해주는 교통정보서비스와 시민들이 많이 애용하는 버스들의 출·도착 정보 등을 실시간으로 제공하는 BIS (Bus Information System) 등으로 구성되며, 이 서비스들은 각 지방 자치 단체별로 별도의 고유 서비스 이름으로 제공되고 있다. 또한 최근에는 민간 기업이나 개인들이 이와 같은 제공되는 공공정보를 활용하거나 자체적으로 수집한 데이터를 활용하여 비슷한 서비스를 제공하고 있으며, 이 서비스들에 대한 활용도는 매우 높은 편이다. 다양하게 제공되는 교통 정보 서비스들에 대한 가장 중요한 선택 기준은 정보의 정확성과 적시성이다. 적시에 정확한 교통 정보를 전달하기 위해서는 현재 주행하고 있는 차량들의 이동 데이터를 가급적 많이 확보하는 것이 우선이며, 그 획득된 데이터들에서 유효한 교통 정보를 정확하게 추출해야 한다. 이에 본 논문에서는 실시간으로 정보를 수집하지 못하고 일정 시간 동안 지연된 차량의 이동 데이터를 제공 받는 환경에서 주행하는 차량들의 통행 시간을 산출하는 알고리즘을 개발하여 제공되는 교통 정보의 정확성과 적시성을 높이고자 한다. 본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 GPS (Global Positioning System) 정보를 지도에 매칭하는 알고리즘들과 매칭 된 정보를 기반으로 통행 시간 추정 알고리즘들에 대한 관련 연구를 알아보고, 3장에서는 제한된 정보가 제공되는 환경에서의 통행 시간 예측 정확도를 개선한 알고리즘을 제안하고 4장에서는 개선된 알고리즘에 대한 성능 평가를 수행하며, 마지막으로 결론 및 향후 연구 방향에 대하여 알아본다.

II. 관련연구

2.1. 지도매칭 알고리즘

GPS 정보를 이용하여 이동되는 차량의 실시간 위치가 확인되면 그 위치를 전자 지도상의 링크나 노드에 정확하게 매칭하는 알고리즘 [2-3],[9-10]이 필요하다. 이는 측정된 데이터의 정확성을 보장하기 위하여 노이즈나 오차 정보 등을 제거하기 위해서이다. 지도 매칭 알고리즘은 크게 기하학적 정보 기반 방법, 지형 구조 기반 방법, 위상 구조를 기반으로 하는 세

가지 방법으로 나눌 수 있으며, 이를 혼합하여 사용하는 경우도 있다. 기하학적 정보 기반 방법으로는 Point-to-point 매칭 알고리즘, Point-to-curve 매칭 알고리즘, Geometric curve-to-curve 매칭 알고리즘 등이 있으나 정확도가 떨어지는 문제점 등이 많아 지형 구조 및 위상 정보를 적절히 혼합하여 정확도를 향상시키고 있다[8]. 예를 들어 P와 Q포인트를 가지고 있는 A 링크에서 Q 포인트를 기준으로 B 링크와 C 링크가 연결되어 있다. C 링크는 현재 사용되지 않는 링크라고 가정한 상태에서 GPS 정보가 C링크와 B링크에 혼재되어 나타날 때, 현재 이동 중인 차량은 B 링크 상에 존재하고 있다고 추정하게 함으로써 GPS 정보의 오차를 줄여나가는 방법이다. 그림 1은 위상 정보를 이용하여 개선된 Point-to-curve 매칭 알고리즘을 나타내고 있다.

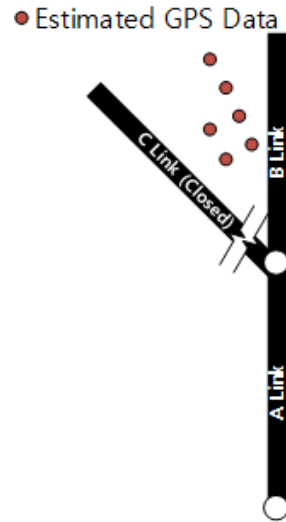


그림 1. 위상정보를 이용한 개선된 Point-to-curve 매칭 알고리즘

Fig. 1 Improved point-to-curve matching algorithm using topology information

최근에는 퍼지 (Fuzzy) 이론[4]이나 패턴 인식에 사용되는 신경망 (Neural network) 이론 [5]을 적용한 매칭 알고리즘도 나오고 있으며, 위치 측정 센서를 어떤 형태로 활용하느냐에 따라 집중, 분산, 및 혼합 방식 등으로 나눌 수 있다.

2.2. 통행 시간 추정 알고리즘

획득된 GPS 데이터들을 이용하여 정제 과정을 거친 후, 매칭 알고리즘을 통하여 정확한 위치 정보들을 산출하게 되면 이를 활용하여 시내의 각 링크(구간) 별로 현재의 교통량이 어느 정도이며, 어느 정도의 이동 시간이 소요되는지를 추정하는 통행 시간 추정 알고리즘이 필요하게 된다. 이와 같은 통행 시간 추정 알고리즘에는 과거 프로파일 접근법, 시계열 모형 산출법, 신경망 이론을 활용한 방법, 동적 통행 배정 모형 활용법 및 Traffic 시뮬레이션 모형을 이용한 방법 등이 있다[6].

과거 프로파일 접근법은 통행량 및 통행시간에 대한 과거 프로파일이 얻어질 수 있다는 가정을 전제로 하여, 장래의 통행시간 예측을 위해 과거의 통행시간의 평균값만을 이용하는 것이다. 이 방법의 경우 단순히 구현이 가능하나 실시간으로 다양하게 변화하는 최근도로 여건에서는 정확성이 떨어지는 문제점을 가지고 있다. 시계열 모형 산출법은 시간 순서대로 수집된 통계 관측 데이터에서 잡음을 제거한 후, 실제 값만을 이용하여 시간 순서대로 재배치하여 활용하는 방법으로써 잡음을 제거하는 방법이 시계열 모형의 성능을 좌우한다. 잡음을 제거하는 방법으로는 자기회기 방법과 이동평균 모형이 제안되었으며, 이를 기반으로 ARIMA (Autoregressive Integrated Moving Average) 모형과 VARMA (Vector Autoregressive Moving Average) 모형 등이 고안되어 활용되고 있다. ARIMA 모형은 UTCS (Urban Traffic Control System) 및 고속도로의 통행시간 예측에 주로 사용되고 있으며, VARMA 모형은 도로망을 구간화하고 구간 도로망 간의 상관관계를 고려하는 다변량 시계열 분석에 사용되고 있다. 신경망 기술을 이용하는 방법은 교통 흐름에 대한 패턴을 인식하여 그 패턴의 통행 시간을 추정하는 방법으로써 이전 데이터를 학습을 수행한 후, 통행시간을 예측하기 때문에 이에 대한 트레이닝 과정이 쉽지 않은 문제점이 있으며, 복잡도가 증가할수록 연산시간이 기하급수적으로 늘어나는 문제점을 내포하고 있다. 동적 통행배정 모형은 시간에 따라 달라지는 교통 수요 변화를 모형이 규정하는 시간 범위 내에서 연산을 수행하여 통행시간을 산출을 목표로 하고 있다. 동적 통행 배정 모형은 다시 크게 정적 모형과 동적 모형으로 나눌 수 있는데, 정

적 모형은 이용자 평형, 시스템 최적 모형, 유전자 알고리즘을 이용하여 예측을 시도하고 있으며, 동적 통행 모형에는 다시 기술적 모형과 규범적 모형으로 나눌 수 있다. 마지막으로 Traffic 시뮬레이션 모형을 이용하는 방법은 여러 가지가 있는데 대표적으로는 이산시간 (Discrete Time) · 이산사건(Discrete Event) 모형, 미시적 · 거시적 모형 및 확정적 (Deterministic) · 확률적 (Stochastic) 모형 등이 있으며, 대부분의 시뮬레이션 모델들은 이산시간 모형을 기초로 하고 있으며, 확률적 모형 및 미시적 모형의 범주에 포함되고 있다[6].

2.3. 교통정보서비스의 개요

중·소규모 이상의 도시 기반의 지방자치단체에서 운영하는 교통정보서비스 시스템은 GPS를 장착하고 있는 택시나 버스로부터 실시간 정보를 전달 받고, 통행 시간 예측을 수행한다. 버스는 지정된 경로만을 운행하는 제약으로 버스가 운행하는 도로들에 대한 통행시간 추정을 위한 데이터를 제공할 수 있으나, 운행 특성상 통행 시간 정보의 오차가 크다는 문제점이 있다. 이에 비해 택시는 실측 통행 시간 정보와 유사한 통행 시간 추정이 가능하나 정보 수집의 밀도가 버스에 비하여 상대적으로 낮은 문제점이 있다. 그래서 대부분의 지방자치단체에서는 이 두 가지를 혼용하기도 하고 보완적으로 영상 감지 및 루프 감지 시스템을 적절히 혼용하여 시내 주요 도로들의 통행량 및 통행시간에 대한 정확도를 높이기 위한 노력을 기울이고 있다. 그렇지만, GPS 데이터를 제공해 줄 수 있는 택시나 버스 등이 충분하게 제공되어야만 정확도를 높일 수 있다는 문제점을 가지고 있다[7]. 이에 비해 민간 기업은 택시와 버스 이외에도 자체적인 Probe 차량량의 운행과 택배, 유조차 등과 같은 별도의 차량 등과의 계약을 통하여 통행량과 통행 시간을 실시간으로 제공하고 있으며, 민간기업 S사에서는 일일 2~3만대 규모의 Probe 차량들을 운용하여 정확도가 제일 높다가 평가되는 T서비스를 제공하고 있다.

III. 시스템의 분석 및 개발

3.1. 시스템의 현황 및 문제점

S시에서는 현재 T 교통정보 서비스를 이용하여 시민들에게 실시간으로 통행량과 통행시간을 제공하고 있다. S시의 교통정보서비스는 크게 도시고속도로, 시내권역, 외부권역 등 세 분야로 구성되어 있는데, 도시고속도로와 외부권역은 각 관리기관으로부터 가공된 정보를 제공 받고 있으며, 시내권역은 민간 택시회사와 계약을 맺어 Probe차량 (택시)로부터 얻은 데이터를 획득하여 서비스를 제공하고 있으나, 민간 기업 S사의 T서비스에 비하여 정확도가 떨어지고 있다. 그림 2는 S시의 통행속도 수집 현황으로 주황색과 녹색은 각각 도시고속도로와 외부권역을 의미하며, 파란색은 본 논문에서 다루고 있는 시내권역을 나타내고 있다.

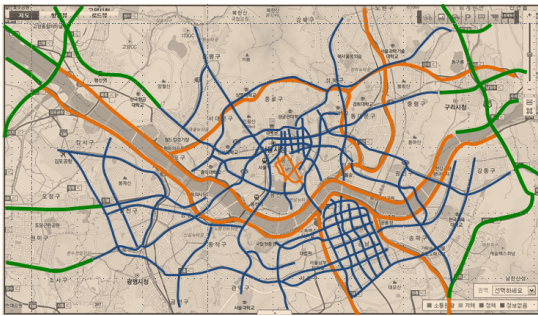


그림 2. S시의 통행속도 수집 현황

Fig. 2 The status of gathering real-time travel time of city of S

S시의 T서비스의 통행 속도가 다른 서비스에 비하여 정확도가 떨어지는 문제점은 다음과 같다.

첫째, 실시간으로 GPS 데이터를 제공하는 차량의 대수가 민간기업 S사의 최대 1/3에 불과하다는 것이다. S시에서 3만대 규모의 민간 택시회사와 계약을 맺고 GPS 데이터를 제공받기로 하였으나, 주간에는 1/9 수준이고 야간에는 최대 1/3 수준에 해당하는 Probe 차량에서 정보가 제공되고 있다. 주간에는 택시의 이용객수가 많지 않기 때문에 Probe 차량의 운행대수가 1/9 수준에 머무르고 있으며, 야간에도 역시 최대 1/3 수준으로써 2~3교대라는 근무 여건과 관련이 있는 것으로 판단되고 있다.

둘째, 통신 요금 문제로 인하여 Probe 차량에서 넘어오는 데이터가 초 단위로 넘어오는 것이 아니라 10초 단위로 15건만을 모아서 데이터를 전송하는 형태이다. 이는 통행량 및 통행시간 산출에 필요한 데이터

가 일정 시간 지연되고 있으며, 삭제된 일부 GPS 데이터로 인하여 전자 지도의 일부 링크는 매칭 절차가 진행되지 않아 실제 이동 거리의 일부가 삭제되는 문제점을 내포하고 있으며, 이는 산출되는 통행량 및 통행속도의 부정확성을 야기하고 있다.

3.2. 결손된 링크 복원 알고리즘

앞 절에서 언급한 첫 번째 문제점의 경우에는 예산 확보라는 전제가 있기 때문에 쉽게 개선되기 어려운 여건이나, 두 번째 문제점은 삭제된 GPS 데이터로 인하여 매칭되지 못하고 결손되는 링크들을 복원시켜서 전체 이동 경로에 포함시킬 수 있다면 산출되는 통행량과 통행 속도의 부정확성을 개선할 수 있을 것이다. 그림 3은 제한된 정보에서 넘어오는 GPS 데이터를 활용하여 차량의 통행량 및 통행 속도를 좀더 정확하게 산출할 수 있는 알고리즘의 순서도를 나타내고 있다. 이 알고리즘은 제한된 GPS 데이터 기반으로 구성된 시계열 모형에서 차량의 진행 방향과 위상 정보를 결합하여 결손된 링크들 중에서 가장 근접한 링크들을 후보 링크로 선정하여 복원한 후, 이를 기반으로 산출되는 통행량 및 통행시간의 정확도를 향상시키는 방법이다.

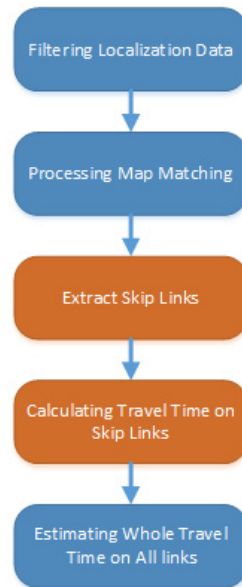


그림 3. 개선된 통행시간 산출 알고리즘

Fig. 3 Improved algorithm for calculating travel time

그림 3에서 주황색 부분이 본 논문에서 제안한 부분이다. GPS 데이터가 제한적으로 공급되기 때문에 누락되었던 링크들 중에서 기존 링크와 연결을 시키기 위하여 후보 링크를 선정하는 기준은 표 1에서 확인할 수 있다. 표 1의 알고리즘을 이용해서 전체 이동 경로의 진행 방향에 대한 방위들을 각각 추출한 후, 결손된 링크들에 매칭 될 수 있는 링크를 전자 지도에서 추출하여 매칭시키는 방식이다. 이 방식을 이용하게 되면 전체 경로를 산출할 수 있게 되어 좀 더 정확한 이동 시간을 추정할 수 있게 된다.

표 1. 진북 기준 각도 계산
Table 1. Calculating degree with true north

```
#define ToRadian(degree) ((degree)*(PI/180.0f))
#define ToDegree(radian) ((radian)*(180.0f/PI))

double angle = ToDegree (a tan2(x2-x1,y2-y1)
if(angle<0) angle += 360
```

특히, S시의 경우에는 100m 이내 짧은 링크가 다수 존재하고 있기 때문에 누락되었던 링크들을 복원하고 그에 대한 통행 속도를 산출하게 되면 실제 통행 속도에 근접할 수 있게 된다. 그림 4는 누락된 링크를 복원하였을 때, 복구되는 짧은 링크들을 나타낸 것이다. 파란색 원은 획득된 GPS 데이터들이고 Link 2는 측정된 GPS 데이터에 매칭되지 않았기 때문에 결손된 링크였으나, 개선된 알고리즘을 통하여 복원되어 산출되는 통행 속도의 정확도를 높게 된다.

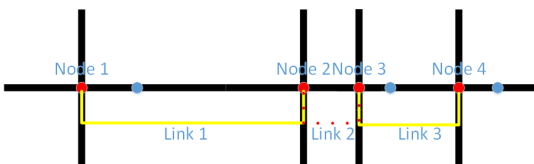


그림 4. 누락된 Link 2의 복원
Fig. 4 Recovery of omitted Link 2

IV. 성능평가

본 논문에서 개발한 알고리즘을 적용하기 전까지 S시에서 제공되는 T 교통정보서비스의 정확도는 정

확도가 떨어지는 것으로 평가되고 있었다. 본 논문에서 개발한 알고리즘의 성능을 검증하기 위하여 시행된 실제 주행 테스트에서 측정된 통행 속도와 기존 알고리즘을 이용해서 산출된 통행 속도는 그림 5와 같이 상당한 오차가 있음을 확인할 수 있었다. 이 테스트는 G문에서 S역 구간을 3일 동안 아침 8시부터 8시 55분 사이에 실제 주행 테스트를 통하여 측정된 통행 속도를 평균값으로 산출한 것으로서 파란색 선은 실제 측정된 값이며, 빨간색은 산출된 추정 통행 속도를 의미한다.

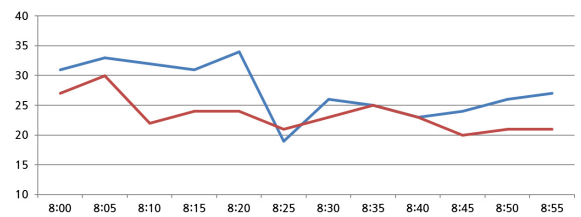


그림 5. 기존 통행 속도 산출 알고리즘과 실 데이터의 차이

Fig. 5 Average error between real data and existing algorithm

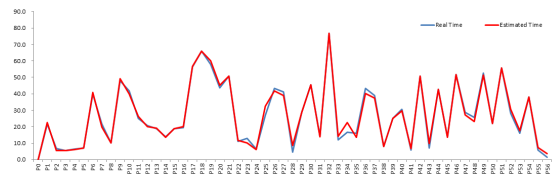


그림 6. 개선된 통행 속도 산출 알고리즘과 실 데이터의 차이

Fig. 6 Average error between real data and improved algorithm

개발된 알고리즘의 성능을 보다 정확하게 검증하기 위하여 S시에서 교통이 복잡하기로 유명한 G구의 Y역에서부터 출발하여 O대로를 거쳐 Y구, D구, G구를 지나 S구의 W아파트로 돌아오는 41km의 이동 경로를 3회에 걸쳐 테스트를 수행하였다. 그림 6은 그 실험 결과를 나타내고 있다. 빨간색 실선 부분은 개선된 알고리즘으로 산출된 통행 시간이며, 파란색 선은 실제 주행을 통하여 측정된 통행 속도이다. 현장 조사 평균 속도가 27.7km/h으로 측정되었으며, 개선된 알고리즘을 통하여 산출된 평균 속도는 29.9km/h로써 약 0.2km/h의 오차를 가지고 있음을 확인할 수 있었다.

V. 결론

지금까지 S시에서 제공하는 T 교통 정보 서비스의 가장 큰 문제점은 이동 경로의 일부가 삭제된 GPS 정보를 이용해서 맵 매칭을 진행함으로써 전체 이동 시간을 추정하기 위한 경로에서 다수의 결손된 링크가 발생하고, 결손된 링크들로 인하여 전체 이동거리 간의 이동 추정 시간이 부정확한 문제점을 가지고 있었다. 공익 목적으로 정부나 지방자치단체에서 시민들에게 정보를 제공함에 있어 가장 중요한 기준은 정확성이다. 그렇지만, 제한된 데이터를 가지고 민간기업의 특정 서비스와 동일한 품질을 제공하는 것은 매우 어려운 일이며, 예산을 투입하여 정보의 정확도를 높이더라도 예산 투입에 대한 적정성 문제가 제기될 수밖에 없는 구조적인 문제점을 가지고 있다. 이에 본 논문에서는 S시에서 제공하는 T교통정보서비스의 정확도를 개선하기 위하여 제한된 GPS 데이터로 인하여 누락되었던 링크들을 위상 정보를 활용하여 복원하여 기존 링크에 결합하여 통행 속도를 산출함으로써 기존 시스템에서 제기되었던 정확도 문제를 일정 부분 해결할 수 있었다.

감사의 글

본 논문은 작성에 많은 도움을 준 송길종님에게 감사의 글을 남깁니다.

References

- [1] D. Choi, "Active ITS infrastructure management strategy for enhanced ITS service," *J. Korea Contents*, vol. 4, no. 9, Sept. 2014, pp. 45-53.
- [2] M. A. Quddus, W. Y. Ochieng, L. Zhao, and R. B. Noland, "A general map matching algorithm for transport telematics applications," *Springer-Verlag GPS Solutions*, vol 7, no. 3, Sept. 2003, pp. 157-167.
- [3] W. Y. Ochieng, M. A. Quddus, and R. B. Noland, "Map-matching in complex urban road networks," *J. of Cartography*, vol. 55, no. 2, 2003, pp. 1-14.
- [4] K.-B. Kim and Y.-W. Woo, "An enhanced max-min neural network using a fuzzy control method," *J. of the Korea Institute of Electronic Communication Sciences*, vol. 8, no. 8, Aug. 2013, pp. 1195-1200.
- [5] J.-H. Lee and J.-W. Kim, "Recognition of a new car plate using color information and error back-propagation neural network algorithms," *J. of the Korea Institute of Electronic Communication Sciences*, vol. 5, no. 5, Oct. 2010, pp. 471-476.
- [6] K. Choi, W.-P. Hong, and Y.-H. Choi, "A travel time estimation algorithm using transit GPS probe data," *J. of Civil Engineering*, vol. 26, no. 5, Sept. 2006, pp. 739-746.
- [7] G.-Y. Hwang, Y.-K. Jeong, H.-J. Choi, and X. Hui, "A study on a traffic signal operation system using complex sensor," *J. of the Korea Institute of Electronic Communication Sciences*, vol. 8, no. 10, Oct. 2013, pp. 1573-1580.
- [8] D. Andersson and J. Fjellström, *Vehicle positioning with map matching using integration of a dead reckoning system and GPS*. Linköping, Sweden : Linköpings universitet/Institutionen för systemteknik, 2004.
- [9] E. J. Krakiwsky, C. B. Harris, and R. V. C. Wong, "A KALMAN filter for intergrating dead reckoning, map matching and GPS positioning," In *Proc. IEEE Int. Symp. on Position Location and Navigation*, Orlando, FL, Dec. 1988, pp. 39-46.
- [10] A. Leonhardi, C. Nicu, and K. Rothermel, "A map-based dead reckoning protocol for updating location information," In *Proc. IEEE Int. Symp. on Parallel and Distributed Processing*, Ft. Lauderdale, FL, Apr. 2001.

저자 소개



유남현(Nam-Hyun Yoo)

1999년 순천대학교 컴퓨터과학과
졸업

2001년 순천대학교 대학원 컴퓨터
과학과 졸업(이학석사)

2007년 순천대학교 대학원 컴퓨터과학과 졸업(이학
박사)

2009년~2010년 오클라호마 대학교 방문교수

2010년~2011년 (주)엘시스 개발팀장

2011년~2013년 경남대학교 KOSTEC 책임연구원

2013년~현재 경남대학교 조선해양IT공학과 조교수

※ 관심분야 : e-Navigation, Ocean&Marine IT System, Robot System, Semantic Web, Context Awareness, IoT

