

Network-RTK GPS 기반 자동차 정밀 위치 추정

운 봉 영*, 이 동 진*, 이 상 선^o

Network-RTK GNSS for Land Vehicle Navigation Application

Bong-Young Woon*, Dong-Jin Lee*, Sang-sun Lee^o

요 약

요즘 차량 네비게이션 시스템은 큰 관심 분야이다. GNSS(Global Navigation Satellite System)은 실외 측위를 위한 기술 중 핵심적인 기술이다. 그러나 GNSS는 높은 정확도와 신뢰도를 제공하지 못한다. 이러한 이유로, 우리는 차량의 GNSS 성능의 정확도를 향상시키기 위하여 Network-RTK를 적용하였다. 이 Network-RTK 모드에서 GNSS 에러는 급격히 감소하게 된다. 본 논문에서 우리는 ntrip client 프로그램을 설명하고 다양한 환경에서의 실험 결과를 보여준다.

Key Words : Vehicle navigation, Network-RTK GNSS, Outdoor positioning, GNSS, Ntrip client

ABSTRACT

These days land vehicle navigation system is a subject of great interest. The GNSS(Global Navigation Satellite System) is the most popular technology for out door positioning. However, The GNSS is incapable of providing high accuracy and reliable positioning. For that reason, we applied Network-RTK in vehicle to improve the accuracy of GNSS performance. In this network-RTK mode, the GNSS error are significantly decreased. In this paper, we explain ntrip client program for network-RTK mode and show the result of experiments in various environments.

I. 서 론

차량 안전서비스와 자율 주행 자동차에 대한 관심이 증가하면서 차량 제어와 차량 위치를 판별하는 기술의 중요성이 부각되고 있다. 특히 지능형 자율주행 자동차나 차량 안전 서비스는 위치를 기반으로 대부분의 시스템이 동작하기 때문에 매우 정밀하고 신뢰성 있는 차량 위치 정보가 필수적이다. 따라서 현재 GPS(Global Positioning System), GLONASS(Globalnaya navigatsionnaya sputnikovaya sistema) 등의 GNSS(Global Navigation Satellite System)나

카메라, 차량 내 센서 등을 이용한 센서 기반 위치추정 기술이 연구되고 있으며, 두 개 이상의 시스템을 융합하는 기술개발도 활발히 이루어지고 있다.^[1-4]

현재 차량 위치를 추정하기 위해 가장 널리 사용하는 방법은 GNSS이다. GNSS는 시간에 따른 오차의 누적이 없으며 가격이 비교적 저렴하다는 장점이 있지만, 환경에 매우 민감한 단점이 있다. 따라서 고속 도로와 같이 주변에 전파 장애물이 없을 경우 위치 오차가 낮지만 도시와 같이 주변에 전파 장애물이 많아질수록 위치 오차가 높아지며, 터널이나 지하주차장 등 위치 추정이 불가능한 지역도 존재한다.^[5-6]

* 본 연구는 산업통상자원부 및 한국산업기술평가관리원에서 지원하는 산업기술혁신사업 (10062375, 환경인식센서 및 V2X 기반 주변 객체(차량, 보행자, 이륜차)의 경로예측 원천기술 개발)의 일환으로 수행하였음.

• First Author : Hanyang University Department of Electronics and Computer Engineering owefsnw@hanyang.ac.kr, 학생회원
 ° Corresponding Author : Department of Electronics and Computer Engineering, Hanyang University, ssnlee@hanyang.ac.kr, 종신회원

* Department of Electronics and Computer Engineering, Hanyang University, cuth0342@hanyang.ac.kr, 학생회원

논문번호 : KICS2016-11-356, Received November 20, 2016; Revised January 11, 2017; Accepted February 20, 2017

INS(Inertial Navigation System)를 이용한 위치 추정의 경우 물리적으로 다양한 잡음이 발생하지만 GNSS에 비해 단기간 정확도가 높고 100Hz의 빠른 추정이 가능하며, 터널과 빌딩숲과 같은 음영지역에서도 지속적인 위치추정이 가능하다. 하지만 적분을 통해 위치를 추정하기 때문에 시간에 따라 위치 오차가 누적되는 단점이 있다.^[7]

GNSS의 성능 향상을 위해 가장 많이 사용되는 방식은 INS와 결합하는 것이다. 칼만 필터를 이용하여 두 시스템의 장점을 결합하는 방식으로 GNSS의 오차가 발생하지 않는 장점과 INS의 단위 시간당 높은 위치 정확도를 가진다는 장점을 결합하는 것이다. 이러한 시스템의 경우 높은 주파수로 보다 정밀한 위치 추정 시스템을 구현할 수 있지만 GNSS의 정확도가 낮으면 매우 고가의 INS를 사용하지 않는 이상 위치 오차를 줄이는 데 한계가 있다.^[8-10]

따라서 본 논문에서는 Network-RTK(Real Time Kinematic) GNSS를 차량에 적용하여 정밀한 차량 위치를 추정하는 방법을 제안한다. Network-RTK 시스템은 무선통신망을 이용해 Ntrip server로부터 위치 보정 데이터를 수신하는 방식으로 차량에 무선통신망이 필요하며 시스템을 동작시키는 별도의 프로그램이 필요하다. 또한, 다양한 환경에서 실험한 결과를 일반적인 Stand alone 상태에서의 GNSS와 비교분석하여 Network-RTK GNSS의 성능을 평가한다.

본 논문은 다음과 같은 순서로 구성되어있다. 2장에서는 Network-RTK GNSS를 위한 Ntrip client 프로그램 구현 방법과 차량에서의 시스템 구성을 설명한다. 3장에서는 Stand alone 상태에서의 GNSS 결과와 Network-RTK GNSS 결과를 비교하며 성능 향상 결과를 보여준다. 그리고 4장에서 결과에 대한 고찰과 향후 연구 진행 방향을 제시한다.

II. 본 론

Network-RTK 방식은 차량으로부터 멀리 떨어진 복수의 관측 데이터를 바탕으로 마치 차량 근처에 기준점이 있는 것처럼 실시간 동적 측위를 할 수 있도록 하는 기술이다.^[11] 가장 널리 사용되는 Network-RTK 방식은 VRS(Virtual Reference Station) 방식과 FKP(Flächen Korrenktur Parameter) 방식이다. 이 중 국토지리정보원에서 제공하는 방식은 VRS 방식이다.

2.1 VRS 방식

VRS 방식은 복수기준점 데이터를 이용하여 소프

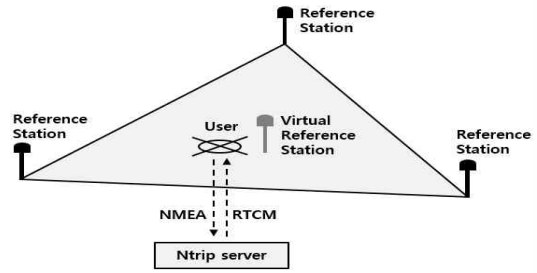


그림 1. 가상 기준 기지국의 원리
Fig. 1. Principle of virtual reference station

트웨어적으로 차량 가까이 있는 참조기준점의 데이터를 생성하여 이 보정 데이터를 차량에 보내주는 방식이다.

그림 1은 VRS 방식의 원리를 보여주고 있다. 앞서 언급했던 참조기준점은 그림에서 가운데 위치하고 있으며 참조기준점의 정보는 복수기준점 데이터를 이용하여 Ntrip server가 생성한다. 따라서 차량이나 이용자는 근처에 참조 기준점이 실제로 존재하는 것처럼 RTK를 이용할 수 있다.

2.2 Network-RTK 데이터 흐름

Network-RTK 방식의 데이터 흐름은 다음과 같다. 먼저 자신의 GNSS로부터 얻은 NMEA (National Marine Electronics Association) 정보를 무선 통신망을 이용하여 Ntrip server로 전송한다. NMEA는 시간, 위치, 방위 등의 정보를 전송하기 위한 프로토콜로써 대부분의 GNSS receiver는 이 규격에 따라 데이터를 생성한다. 특히 NMEA 데이터 중 이용자의 위치, 시간 등의 정보를 담고있는 GGA(Global Positioning System Fix Data) 정보를 Ntrip server에 전송하게 된다. Ntrip server가 이용자의 NMEA 데이터를 수신하면 이용자 주변의 참조기준점 데이터를 다시 이용자에게 전송하게 되는데, 이 데이터는 RTCM(Radio Technical Commission for Maritime Services) 규격에 따라 전송하게 된다. RTCM은 현재 가장 보편적으로 사용되는 오차정보 전송 프로토콜로써 DGPS(Differential Global Positioning System) 등 다양한 GNSS 오차보정 시스템에 사용되고 있다.

2.3 Ntrip client 알고리즘

Network-RTK 이용자가 NMEA 데이터를 VRS Ntrip server에 전송하고 참조기준국의 RTCM 데이터를 수신 받는 일련의 과정을 담당하는 부분이 Ntrip client이다. 즉 GNSS receiver는 Ntrip client를 이용

하여 보정된 위치를 계산할 수 있는 것이다. Network-RTK 이용한 위치 추정을 하기 위해서는 Ntrip client 구현이 필수적이다.

그림 2는 Ntrip client 블록다이어그램을 보여주는 그림이다. 먼저 GPS Receiver와 Ntrip client는 UART 통신을 이용하여 데이터를 교환한다. UART 통신 포트는 총 2개가 필요하다. 첫 번째는 GGA 데이터를 Ntrip client로 보내고 RTCM 데이터를 받는 포트이다. 그리고 두 번째는 보정 데이터를 이용하여 보정된 NMEA 데이터를 최종적으로 수신하는 포트이다. 2 포트는 개별적으로 동작해야 하기 때문에 각각 프로세스를 생성해야 한다. 실험에 사용한 GNSS Receiver의 경우 10Hz 로 동작하기 때문에 1 초에 10 번씩 데이터를 전송한다. 그림 2에서 Nmea.manager.c와 Ntripclient.c는 각각의 스레드로 동작하기 때문에 IPS를 통해 NMEA 데이터를 공유한다. Nmea.manager.c 는 앞서 설명한 GNSS Receiver와 데이터를 주고받는 부분이다. Ntripclient.c는 Ntrip server와 데이터를 교환하는 부분이다. 두 프로세스는 tcp/ip 통신을 이용하여 연결되어 있다. 전송하는 데이터는 Ntripclient.c에서 Nmea.manager.c에서 받은 NMEA 데이터를 Ntrip server 에 전송하고 RTCM 데이터를 수신받는다. Ccan.manager.c 부분은 보정된 데이터를 차량 CAN 통신을 통해 차량 내 필요한 프로세서에서 사용할 수 있도록 전송하는 부분이다. 그리고 그림 2 의 가운데 있는 V2x-rcp.c는 모든 프로세서의 동작을 제어하는 부분이다.

그림 3 은 Ntrip client 프로그램 내부의 데이터 흐름도이다. 먼저 모든 프로그램을 제어하는 V2x-rcp.c가 실행되면서 Ccan.manager.c와 Nmea.manager.c 그리고 Ntripclient.c를 실행시킨다. 다음 GNSS 와 UART 통신을 연결하여 데이터가 송수신 될 수 있도록 네트워크를 생성한다. 프로그램이 GNSS Receiver 와 연결이 되면 tcp/ip socket을 생성하고 Ntrip server 인 국토지리정보원에 접속 패킷을 전송하여 네트워크를 연결한다. 프로그램이 실행되면 다음과 같은 과정

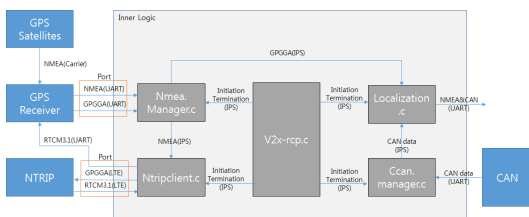


그림 2. ntrip client의 블록다이어그램
Fig. 2. Block diagram of ntrip client

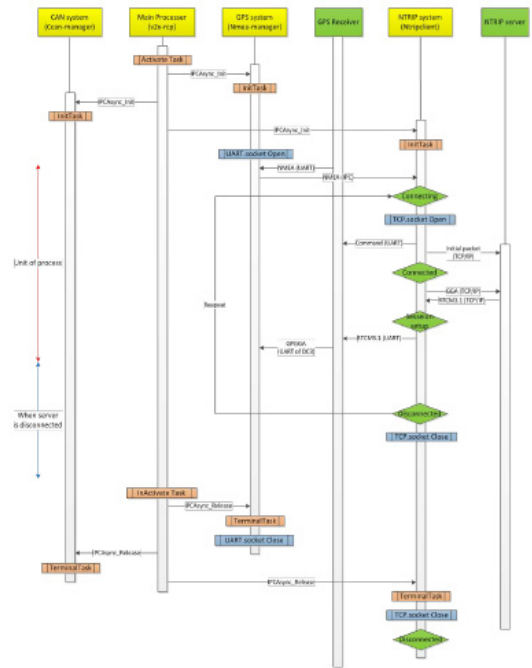


그림 3. ntrip client의 데이터 흐름 다이어그램
Fig. 3. Data flow diagram of ntrip client

을 통해 Network-RTK를 동작할 수 있게 만든다. 모든 통신 루트가 동작하면 스레드를 통해 지속적으로 보정된 데이터를 CAN 통신을 통해 자율주행 자동차나 차량 안전 서비스를 위한 프로세서에 보내지게 된다. 그리고 프로그램을 종료하면 V2x-rcp.c가 모든 생성된 스레드와 통신포트를 종료시키며 프로그램을 종료한다.

2.4 RTCM 프로토콜

표 1 은 RTCM 프로토콜 중 Network-RTK 동작을 통해 받았던 프로토콜만 나타낸 것이다. 이 데이터 중 가장 중요한 데이터는 Message 1004 와 Message 1012 이다. 이 데이터는 미국에서 운영하는 위성항법 시스템인 GPS 와 러시아에서 운영 중인 GLONASS 에 대한 보정정보를 제공하는 프로토콜이다. Bei-dou 나 Galileo와 같은 위성항법시스템은 현재 서비스를 제공하지 않아서 GNSS Receiver가 위의 항법시스템 서비스를 제공하더라도 Network-RTK 동작 시 사용하지 않는다.

III. 실험

Network-RTK 성능을 평가하기 위하여 실험차에

표 1. RTCM 형식
Table 1. RTCM format

Message type	Description
Message 1004	• GPS L1+L2 observations, extended information that contains signal-to-noise and full milliseconds for code observations
Message 1005	• ARP station coordinates, ECEF XYZ
Message 1007	• Antenna type
Message 1012	• GLONASS L1+L2 observations, extended information that contains signal-to-noise and full milliseconds for code observations
Message 1030 Message 1031	• Additional information in networked reference station operation • 1030 = GPS network residuals • 1031 = GLONASS network residuals
Message 1032	• ARP message VRS
Message 1033	• Receiver and antenna descriptor

시스템을 구성하여 여러 가지 시나리오에서 실험해 보았다. 그리고 결과 분석을 위해서 고가의 Reference GNSS를 추가하여 실험을 진행하였다.

3.1 실험 하드웨어 구성

Network-RTK를 구현하기 위해서는 우선 RTK 기능을 지원하는 GNSS Receiver가 필요하다. 그리고 Ntrip server와 데이터 교환을 위한 무선통신망이 필요하다.

그림 4는 차량 내 시스템 구성도를 나타낸 것이다. 무선 통신망으로 LTE Router를 사용하였으며, Car

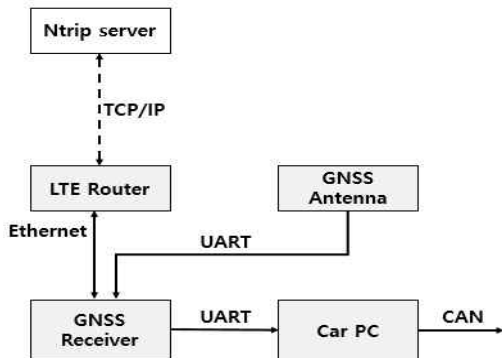


그림 4. Network-RTK를 위한 차량내부 시스템의 블록 다이어그램
Fig. 4. Block daigram of in-vehicle system for network-RTK

PC에는 Linux OS를 기본으로 세팅되었다. 그리고 Ntrip client 프로그램은 Linux OS에서 동작하도록 구성하였다.

3.2 실험 시나리오

그림 5와 같이 실험은 총 3 가지 시나리오에서 실행하였다. 첫 번째는 GNSS 환경이 가장 좋은 개활지에서 실험했다. 그리고 두 번째는 GNSS 환경이 가장 안 좋은 빌딩 숲 지역이다. 테헤란로와 같은 상업 지구에서 흔히 볼 수 있는 환경이다. 마지막은 일반적으로 주거단지에서 자주 나타나는 낮은 빌딩 사이에 도로가 있는 지역이다.

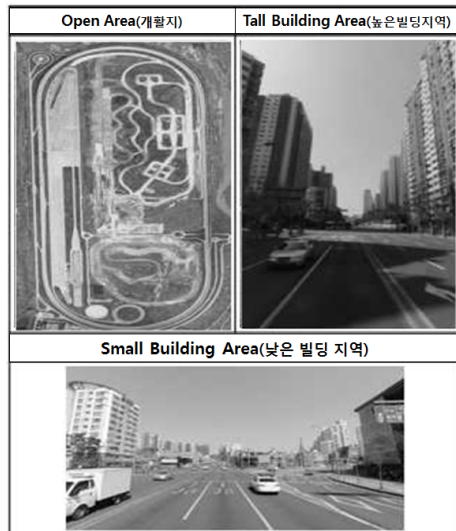


그림 5. 다양한 환경에서의 테스트 시나리오
Fig. 5. Test scenarios under various environments

3.3 실험 결과 평가 방법

실험 결과를 분석할 때는 아래와 같은 조건하에서 평가하였다.

- 각 시나리오별로 각각 Stand-alone 과 Network-RTK 모드로 실험
- Network-RTK 방식에서 Mask angle = auto, Time out = 20s 그리고 Update rate = 3s 로 설정
- GNSS mode가 fix 될 때(mode = 0 에서 다른 mode 로 변환) 1s 간 데이터 제거
- 차량에 설치된 Network-RTK GNSS 안테나와 Reference GNSS 안테나 offset 제거
- 차량의 Heading angle을 고려하여 종방향, 횡방향에 대한 오차 계산

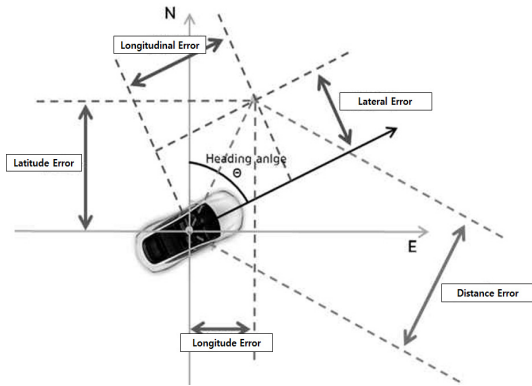


그림 6. 위경도 좌표계에서 body frame 좌표계로 좌표변환
Fig. 6. Coordinate conversion from latitude longitude to body frame

각각의 설정은 실험 결과 최상의 결과를 낼 수 있는 파라미터로 구성하였으며, 차량의 Heading angle은 NMEA 데이터에 있는 정보를 이용하였다. 또한, Reference GNSS 안테나와 Network-RTK GNSS 안테나는 물리적인 위치 차가 존재하기 때문에 역시 NMEA 데이터의 Heading angle을 이용하여 소프트웨어적으로 오차를 제거 하였다.

그림 6은 GNSS의 결과인 위경도 좌표를 차량 중심의 좌표로 변환하는 과정을 나타낸 것이다.^[12] 2절을 참고하여 좌표를 변환 하였다. 따라서 오차 결과는 종 방향 오차, 횡 방향 오차, 거리 오차로 총 세 가지 결과 값을 산출했다.

3.4 실험 결과

세 가지 환경의 특성을 파악하기 위해 실험 결과를 분석하기에 앞서 각 환경에서의 GNSS 특성을 살펴볼 필요가 있다.

그림 7은 세 가지 환경에서 각각의 HDOP (Horizontal Dilution of Precision)를 보여주며, 그림 8은 각각의 위성수를 보여준다. x 축은 epoch로 각 실험에서 epoch가 다른 이유는 개활지 경우 GPS 수신기가 고정되어 있어 위성의 이동으로만 변화가 생기기 때문에 긴 시간 실험을 진행하였고, 낮은 빌딩 지역, 높은 빌딩 지역에서는 각 실험 지역의 도로 구간 길이가 달라 epoch이 실험 구간마다 각각 다르게 나타나었다. 위성 수와 HDOP는 GNSS의 수신 상태를 판별하기에 매우 유용한 데이터이다. HDOP란 2D에서의 위치오차와 관련된 파라미터로써 위 그림에서 알 수 있듯이 HDOP의 경우 개활지에서 높은 빌딩 지역으로 갈수록 값이 두 배 이상 높아진다. 그리고 낮은 빌딩지역에서는 위 두 지점의 중간정도 값을 가진

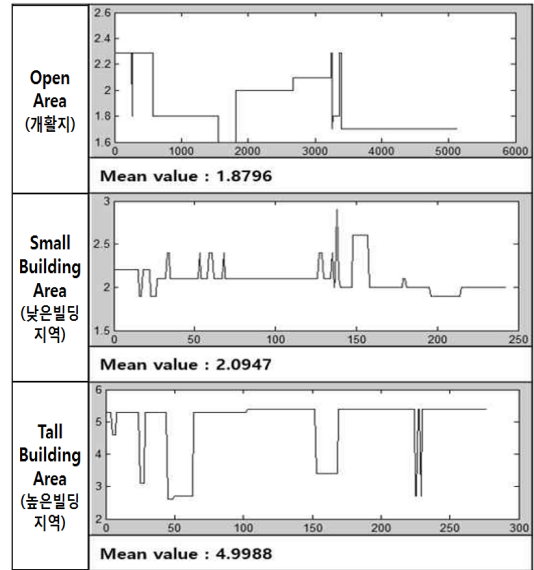


그림 7. 다양한 환경에서 GNSS의 HDOP
Fig. 7. HDOP of GNSS in various environments

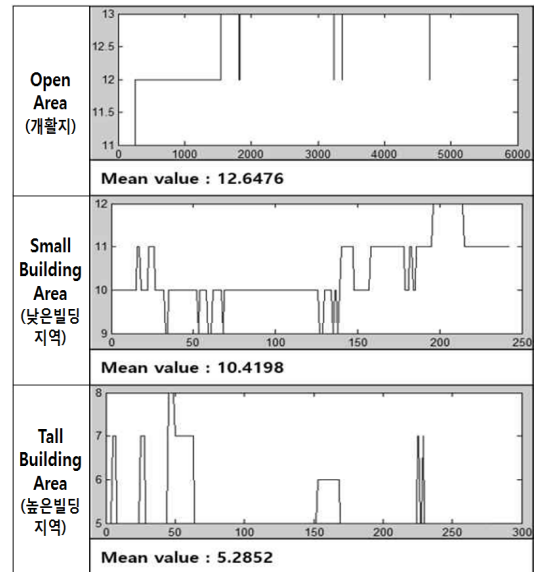


그림 8. 다양한 환경에서 GNSS 위성 개수
Fig. 8. The number of satellites of GNSS in various environments

다. 위성 개수를 보면 환경의 특성이 더욱 명확히 나타난다. 개활지의 경우 대부분 12개 이상의 위성으로부터 신호를 받지만 낮은 빌딩이 많은 주거지역의 경우 10개에서 11개의 위성신호를 받는다. 반면 높은 빌딩이 많은 상업지역의 경우 평균 위성수가 거의 5개로 확연히 줄어든다. 따라서 세 지역에서의 실험을 통

해 다양한 환경에서의 위성 성능을 판단할 수 있다.

그림 9 는 세 가지 환경에서 Network-RTK 방식과 Stand alone 방식에서의 결과를 비교한 것이다. 그래프의 x 축은 차량의 종 방향 오차이며, y 축은 차량의 횡 방향 오차이다. 결과는 RMS로 계산하였으며, 오차는 Reference GNSS 결과와 실험한 GNSS 결과의 차를 사용하였다. 개활지의 경우 오차 분포가 밀집되는 반면 나머지 두 환경의 오차분포는 퍼져있는 것을 알 수 있다. 즉 위성신호를 수신하기에 환경이 고르지 못하여 오차의 분산이 커진 것이다. 결과가 고르지 못한 두 번째 이유는 멀티패스의 영향이다. 개활지에 비해 빌딩 등의 전파 장애물이 많은 지역에서는 신호의 반사가 많이 일어나며 결국 이러한 멀티패스 때문에 위치 오차가 커지고 일부지역에서는 GNSS가 위치를 계산하지 못하는 경우까지 발생한다.

표 2 는 Stand alone 과 Network-RTK 모드에서 계산된 오차의 RMS 값을 나타낸 것이다. 세 가지 환경에서 각각 차량의 종 방향, 횡 방향 그리고 대각선 거리 오차 수치를 보여준다. 결과를 보면 Stand alone 보다 Network-RTK 를 사용했을 때 전체적으로 결과가 더 나아지는 것을 알 수 있다. 방향에 따라 부분적으로 Stand alone이 더 작은 오차를 갖는 부분이 있지만 거리 오차에서 Network-RTK를 사용하였을 때 나아지는 점을 확인할 수 있다.

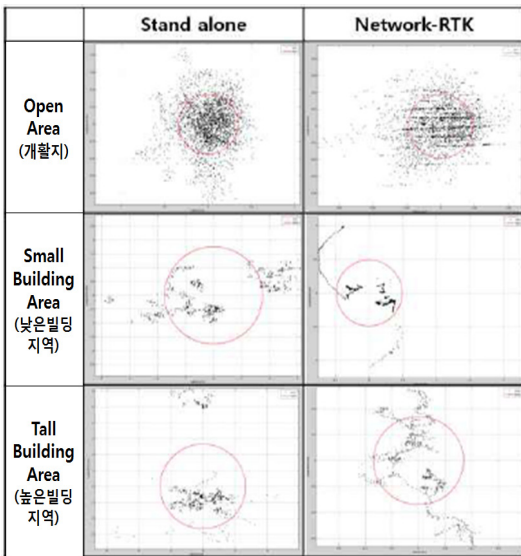


그림 9. 다양한 환경에서 GNSS 에러의 RMS
Fig. 9. RMS of GNSS error in various environments

표 2. 다양한 환경에서 stand alone과 network-RTK를 이용하여 계산된 위치 값 비교

Table 2. The difference in calculated position between stand alone and network-RTK in various environment

Area	Evaluation	Stand alone	Network-RTK
Open Area (개활지)	Longitudinal Error	0.2612 m	0.0917 m
	Lateral Error	0.2240 m	0.0158 m
	Distance Error	0.3341 m	0.0931 m
Small Building Area (낮은 빌딩지역)	Longitudinal Error	0.6181 m	0.7932 m
	Lateral Error	1.6446 m	0.8695 m
	Distance Error	1.7569 m	1.1770 m
Tall Building Area (높은 빌딩지역)	Longitudinal Error	2.3763 m	0.6367 m
	Lateral Error	1.1827 m	1.4724 m
	Distance Error	2.6543 m	1.6042 m

IV. 결 론

1) Network-RTK 방식을 이용한 GNSS Receiver의 결과는 일반적인 Stand alone 방식의 GNSS에 비해 종 방향은 평균 0.6948 m, 횡 방향은 평균 0.4243 m, 그리고 거리 오차는 평균 0.6237 m 로 RMS가 감소하는 것을 알 수 있다.

2) 무선통신을 이용하여 RTCM 데이터를 수신하기 때문에 기존의 DGPS나 RTK 기술에 비해 사용 범위의 제약이 없고, 별도의 기지국을 설치할 필요가 없다. 또한 실시간으로 주변에 참조기준국의 보정데이터를 생성하므로, 빠른 속도로 움직이는 차량 환경에서 기존의 기술에 비해 더 나은 결과를 얻을 수 있다.

3) Ntrip client 의 구현을 통해 Network-RTK에 필요한 파라미터를 제어할 수 있으며, 성능 향상을 위해 추가적인 소프트웨어 개발이 가능하다.

자율 주행 자동차나 차량 간 안전서비스를 위해서는 현재 차량의 위치를 정확히 추정하는 기술이 매우 중요하다. 그리고 카메라와 관성 센서 등을 GNSS 결과와 융합하는 기술이 활발히 연구되고 있다. 하지만 실외 위치 추정에서 GNSS는 가장 중요한 역할을 하고 있으며 절대적인 좌표를 출력하는 GNSS 결과가 좋지 못할 때는 다른 센서와의 융합에서도 그 결과가 나빠지는 경향이 있다. 따라서 이 논문을 통해 Network-RTK 방식을 차량에 적용하여 GNSS가 실제 도로 환경에서 얼마나 오차가 줄어드는 지를 보여주었으며, Network-RTK 를 차량에 적용하는 방식을 전반적으로 설명하였다. 하지만 무선통신이 불안정하여 Ntrip server 와 연결이 끊어질 경우나 터널과 같이

GNSS가 위성으로부터 데이터를 수신하기 어려운 환경에서는 보정 데이터의 수신에 불능하여 데이터가 끊기는 현상이 발생한다. 따라서 Network-RTK GNSS 결과를 INS 등 과 융합하여 위치를 추정하는 알고리즘 연구가 필요하다.

References

[1] K. W. Park, D. Lee, and C. Park, "A precise relative positioning method based on time-differenced carrier phase measurements from low-cost GNSS receiver," *J. KICS*, vol. 40, no. 09, pp. 1846-1855, Sept. 2015.

[2] J. J. Choi, H. Y. Choi, S. B. Do, and H. S. Kim, "Absolute altitude determination for 3-D indoor and outdoor positioning using reference station," *J. KICS*, vol. 40, no. 01, pp. 165-170, Jan. 2015.

[3] J. W. Kim, M. S. Lee, and S. S. Lee, "Vehicular pitch estimation algorithm with ACF/IMMKF based on GPS/IMU/ODD data fusion," *J. KICS*, vol. 40, no. 09, pp. 1837-1845, Sept. 2015.

[4] D. M. Bevilacqua, "Global positioning system (GPS): A low-cost velocity sensor for correcting inertial sensor errors on ground vehicles," *J. Dyn. Syst., Meas. Control, Trans. (ASME)*, vol. 126, no. 2, pp. 255-264, Aug. 2004.

[5] M. Irsigler and B. Eissfeller, "Comparison of multipath mitigation techniques with consideration of future signal structures," in *Prec. GNSS2003*, pp. 689-697, Portland, USA, 2008.

[6] J. Marias, M. Berbineau, and M. Heddebaut, "Land mobile GNSS availability and multipath evaluation tool," *IEEE Trans. Veh. Technol.*, vol. 54, no. 5, pp. 1697-1704, Sept. 2005.

[7] G. Dissanayake, S. Sukkarieh, E. Nebot, and H. Durrant-Whyte, "The aiding of a low-cost strapdown inertial measurement unit using vehicle model constraints for land vehicle applications," *IEEE Trans. Robot Autom.*, vol. 17, no. 5, pp. 731-747, Oct. 2001.

[8] S. Rezaei and R. Sengupta, "Kalman

filter-based integration of DGPS and vehicle sensors for localization," *IEEE Trans. Control Syst. Technol.*, vol. 15, no. 5, Oct. 2006.

[9] S. Godha and M. E. Cannon, "GPS/MEMS INS integrated system for navigation in urban areas," *GPS Solutions*, vol. 11, pp. 193-203, 2007.

[10] H. Qi and J. B. Moore, "Direct kalman filtering approach for GPS/INS integration," *Electron. Sys.*, vol. 38, no. 2, pp. 687-693, Apr. 2002.

[11] S. Moon, S. Lee, J. Kim, and B. Kim, "Detecting lane departure based on GIS using DGPS," *KSAE*, vol. 20, no. 4, pp. 16-24, 2014.

[12] A. Noureldin, T. B. Karamat, and J. Georgy, *Fundamentals of Inertial Navigation, Satellite-based Positioning and their Integration*, Springer, 2013.

윤 봉 영 (Bong-Young Woon)



2015년 2월 : 인천대학교 전자공학과 학사
 2015년 3월~현재 : 한양대학교 전자컴퓨터통신공학과 석사과정
 <관심분야> 차량위치추위, 자율주행, Neural Network

이 동 진 (Dong-Jin Lee)



2012년 2월 : 을지대학교 의료전산학과 학사
 2014년 8월 : 한양대학교 전자컴퓨터통신공학과 석사
 2014년 9월~현재 : 한양대학교 전자컴퓨터통신공학과 박사과정

<관심분야> Indoor Positioning System, Machine learning

이 상 선 (Sang-sun Lee)



1978년 2월 : 한양대학교 전자공
학과 학사

1983년 2월 : 한양대학교 전자공
학과 석사

1990년 8월 : University of
Florida 전기공학 박사

1993년 3월~현재 : 한양대학교
융합전자공학부 교수

<관심분야> 전자공학, 통신공학, 광통신공학