

GPS를 활용한 Vision/IMU/OBD 시각동기화 기법

A Time Synchronization Scheme for Vision/IMU/OBD by GPS

임준후¹ · 최광호¹ · 유원재² · 김라우² · 이유담² · 이형근^{2*}

¹한국항공대학교 항공전자공학과

²한국항공대학교 항공전자정보공학과(부*)

JoonHoo Lim¹ · Kwang Ho Choi¹ · Won Jae Yoo² · La Woo Kim² · Yu Dam Lee² · Hyung Keun Lee^{2*}

¹School of Electronics, Telecomm. & Computer Eng., Korea Aerospace University, Gyeonggi-do, 10540, Korea

²School of Electronics and Information Eng., Korea Aerospace University, Gyeonggi-do, 10540, Korea

[요 약]

차량의 정확한 위치 추정을 위하여 GPS (global positioning system)와 영상 센서, 관성 센서 등을 결합한 복합 측위에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다. 본 논문에서는 복합 측위에 있어 중요한 요소 중 하나인 각 센서 간의 시각동기화 기법을 제안한다. 제안된 기법은 GPS 시각 정보를 기준으로 시각동기화 된 영상 센서, 관성 센서와 OBD (on-board diagnostics) 측정치를 획득하는 기법이다. GPS로부터 시각 정보와 위치 정보를 획득하며, 관성 센서로부터 차량의 자세에 관련된 측정치와 OBD를 활용하여 차량의 속력을 획득한다. 영상 센서로부터 획득한 영상에 GPS 시각 정보와 위치 정보, 관성 센서와 OBD의 측정치를 색상으로 변환하여 영상 픽셀에 삽입하는 기법을 제안한다. 또한, 영상에 삽입된 시각동기화 된 센서 측정치들은 변환 과정을 통하여 추출할 수 있다. 각 센서들의 결합을 위하여 임베디드 리눅스 보드를 활용하였으며, 제안된 기법의 성능 평가를 위하여 실제 차량 주행을 통한 실험을 수행하였다.

[Abstract]

Recently, hybrid positioning system combining GPS, vision sensor, and inertial sensor has drawn many attentions to estimate accurate vehicle positions. Since accurate multi-sensor fusion requires efficient time synchronization, this paper proposes an efficient method to obtain time synchronized measurements of vision sensor, inertial sensor, and OBD device based on GPS time information. In the proposed method, the time and position information is obtained by the GPS receiver, the attitude information is obtained by the inertial sensor, and the speed information is obtained by the OBD device. The obtained time, position, speed, and attitude information is converted to the color information. The color information is inserted to several corner pixels of the corresponding image frame. An experiment was performed with real measurements to evaluate the feasibility of the proposed method.

Key word : Time synchronization, Global positioning system, Vision, Micro electro mechanical systems - inertial measurement unit, On-board diagnostics.

<https://doi.org/10.12673/jant.2017.21.3.251>



This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

Received 28 April 2017; Revised 4 May 2017

Accepted (Publication) 24 June 2017 (30 June 2017)

*Corresponding Author; Hyung Keun Lee

Tel: +82-2-300-0131

E-mail: hyklee@kau.kr

I. 서론

최근 지능형 자동차, 무인자동차를 위한 연구로써 차량의 정확한 위치를 추정하기 위하여 GPS (global positioning system) 와 영상 센서, MEMS-IMU (micro electro mechanical systems - inertial measurement unit) 등을 결합한 복합 측위에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다[1]-[3]. 복합 측위에 활용되는 여러 센서 데이터를 통합함에 있어, 각 센서 간의 시각동기화는 필수적인 요소이다[4], [5].

시각동기화를 위한 기법으로는 하드웨어적인 기법과 소프트웨어적인 기법이 있다. 하드웨어적인 기법은 PPS (pulse per second) 신호를 활용한 동기화 기법으로 PPS 신호를 수신할 수 있는 별도의 장비가 필요하다는 단점이 있다[6]. 반면에, GPS 시각 정보를 활용하는 소프트웨어적인 기법은 별도의 장비를 요구하지 않으며, 구현이 단순하다. GPS 시각 정보를 활용하는 소프트웨어적인 기법은 GPS 수신기로부터 수신된 GPS 메시지 중 GPS 시각 정보를 추출하여 시각동기화에 활용하는 기법이다.

OBD (on-board diagnostics)는 차량의 고장 검진을 위하여 활용되며, 차량의 속력을 주변 환경의 영향을 받지 않고 취득할 수 있는 장치이다[7], [8]. 다중 경로 오차와 같은 주변 환경의 영향을 받아 GPS로 추정되는 속도 오차가 저하되는 단점을 OBD를 활용하여 보완할 수 있다.

각 센서들의 통합을 위하여 본 논문에서는 BBB (beaglebone black)[9]를 활용하였다. BBB는 임베디드 리눅스 보드로써 USB, I2C 통신이 가능하다. 본 논문에서 BBB는 GPS, 영상 센서, MEMS-IMU, OBD를 연결하여 각 센서 데이터를 획득하며, 저장하는 역할을 수행한다.

본 논문에서는 GPS와 영상 센서, MEMS-IMU, OBD 데이터의 시각동기화를 위한 기법을 제안한다. GPS를 활용하여 시각 정보와 차량의 위치 정보를 획득하며, MEMS-IMU를 활용하여 사용자의 자세 정보, OBD를 활용하여 차량의 속력을 획득하고, 영상 센서로부터 획득된 이미지의 픽셀에 각 센서 값을 색상 정보로 변환 및 삽입하는 기법이다. 또한, 획득한 이미지로부터 간단한 변환 과정을 통하여 색상 정보로 기입된 시각동기화 된 센서 데이터를 추출할 수 있다. 따라서 제안된 기법을 활용하여 시각동기화 된 차량의 위치와 속력, 자세 정보를 포함하는 영상을 획득할 수 있으며, 획득된 영상을 활용하여 각 센서들의 데이터를 추출할 수 있다.

본 논문은 다음과 같이 구성되어 있다. 먼저, 임베디드 리눅스 보드를 활용하여 각 센서들을 통합하는 방안에 대하여 설명한다. 다음으로 GPS 시각 정보를 기반으로 각 센서들의 데이터를 동기화 하는 기법과 동기화된 데이터를 색 정보로 변환하여 영상에 삽입하는 방법 및 시각동기화 된 영상으로부터 센서 데이터를 추출하는 방법에 대하여 기술한다. 마지막으로 제안된 기법의 성능 평가를 위하여 실제 차량을 통한 실험을 수행하였다.

II. 임베디드 리눅스 보드를 활용한 센서 통합

2-1 임베디드 리눅스 보드

본 논문에서 활용된 임베디드 리눅스 보드는 BBB로써 사양은 표 1과 같다. BBB는 USB와 I2C를 활용한 통신을 지원해주며, 내부메모리와 추가적인 외부메모리를 활용할 수 있는 소형/저가형 임베디드 리눅스 보드이다. 표 2는 본 논문에서 활용된 센서들과 BBB와의 연결 방식을 나타내며, 내부메모리를 활용하여 각 센서들의 데이터를 저장한다.

2-2 센서 통합

본 논문에서 활용한 센서는 4종류로써, 다음과 같은 역할을 수행한다. GPS 수신기는 시각 정보와 차량의 위치를 획득하는 장치로 활용되었다. 영상 센서는 차량의 주행 영상을 저장하며, 시각동기화 된 각 센서 측정치들의 색상 정보를 기입하는 역할을 수행한다. MEMS-IMU는 차량의 3축 가속도, 3축 자이로 측정치를 획득하는 센서로 활용되었다. MEMS-IMU 측정치를 활용하여 차량의 자세를 추정할 수 있다. 또한 OBD는 차량의 속력을 획득하는 역할을 수행한다. 그림 1은 BBB와 각 센서간의 통신 방식 및 센서 종류를 나타낸다.

표 1. BBB의 대표적인 사양[9]

Table 1. Key features of BBB.

Processor AM335x 1GHz ARM Cortex-A8	Connectivity	Software Compatibility
- 512MB DDR3 RAM	- USB client for power & communications - USB host - Ethernet - HDMI - 2x 46 pin headers	- Debian
- 4GB 8-bit eMMC on-board flash storage		- Android
- 3D graphics accelerator		- Ubuntu
- NEON floating-point accelerator		- Cloud9 IDE on Node.js w/ BoneScript library
- 2x PRU 32-bit microcontrollers		- plus much more

표 2. 센서들과 BBB의 인터페이스 방식

Table 2. Interface types between sensors and a BBB.

Sensor	GPS	Vision sensor	IMU	OBD
Interface	USB	USB	I2C	USB

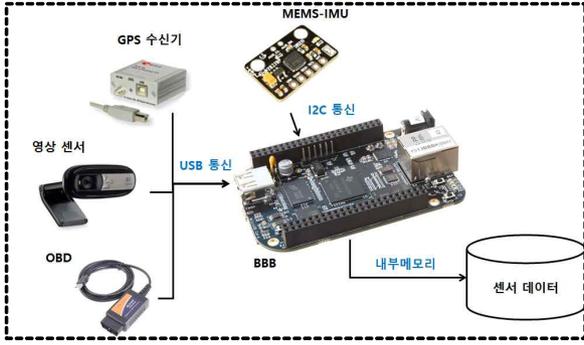


그림 1. 센서의 종류와 BBB와 각 센서 간의 통신 방식
 Fig. 1. Types of sensors and communication methods between sensors and a BBB.

III. GPS를 활용한 시각동기화 기법

그림 2는 제안된 GPS 시각 정보를 활용한 시각동기화 기법의 알고리즘을 나타낸다. 각 센서로부터 측정된 데이터들은 GPS 시각 정보와 함께 픽셀화 과정을 통하여 영상에 삽입된다. 표 3은 각 센서 데이터의 종류와 자료형을 나타낸다. BBB에서는 multi-thread 기능을 활용하여 각 센서들의 데이터를 결합하고, GPS 시각 정보를 기준으로 저장한다. 시각동기화 된 각 센서 데이터들은 픽셀화 과정을 통하여 정수형 정보에서 색 정보로 변환하여 영상에 삽입한다. 표 4는 픽셀화를 위한 각 숫자와 데이터 분류 기호에 해당하는 색 변환표를 나타낸다.

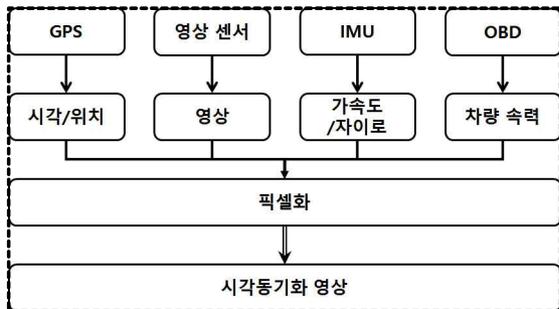


그림 2. 시각동기화 순서
 Fig. 2. Time synchronization flow.

표 3. 센서의 종류와 자료형
 Table 3. Sensor classifications and data types.

Sensor	GPS	Vision sensor	IMU	OBD
Data	Time Position	Image	3 axis-acc. 3 axis-gyro.	Speed of the vehicle
Data type	double	frame	double	int

표 4. 픽셀화를 위한 색 변환표
 Table 4. Color converting table for pixelization.

Integer value	Red	Green	Blue
1	0	0	255
2	0	255	0
3	255	0	0
4	255	0	100
5	255	100	0
6	255	100	100
7	255	0	200
8	255	200	0
9	255	200	200
0	255	255	255
dot (.)	0	0	0
null ()	100	100	100

본 논문에서 사용되는 정수형은 총 12가지로 0~9까지의 숫자와 소수점을 나타내는 dot (.), 그리고 데이터 분류 기호인 null ()이다. 제안된 기법은 12가지로 분류된 정수형 데이터를 RGB (red/green/blue)값의 조합으로 구성된 색정보로 변환한다. 그림 3은 변환된 색정보를 영상 이미지 픽셀에 삽입하는 위치를 나타낸다. 픽셀화를 거쳐 변환된 색정보는 영상 정보를 최대한 활용하기 위하여 영상의 위쪽에 삽입된다. 또한, 하나의 정수형 데이터는 4개의 픽셀로 이루어진다. 이는 색정보를 정수형으로 변환하는데 있어 발생할 수 있는 오류를 없애기 위함이다. 제안된 기법은 RGB 조합을 활용하여 변환하는 것이므로 확장이 용이하다.

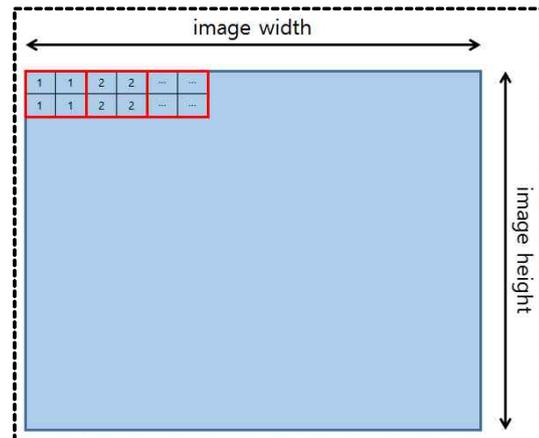


그림 3. 영상 내 변환된 색정보의 위치
 Fig. 3. Location of converted color information in the image.

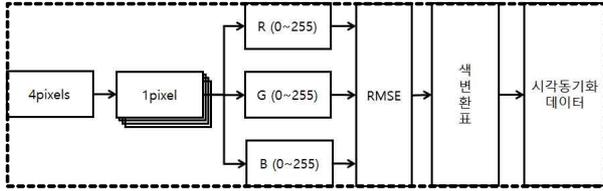


그림 4. 색정보로부터 시각동기화 데이터를 추출하는 과정
 Fig. 4. Procedure to extract time-synchronization data from color information.

$$RMSE = \min \left\{ \begin{aligned} & \left(Table_R(k) - Mean_R \right)^2 \\ & + \left(Table_G(k) - Mean_G \right)^2 \\ & + \left(Table_B(k) - Mean_B \right)^2 \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

여기서, $k = 1 \sim 12$.

그림 4와 식 (1)은 영상의 색정보로부터 정수형 데이터를 추출하는 과정을 나타낸다[10]. 하나의 정수형 데이터는 4개의 픽셀로 이루어져 있으므로, 각 픽셀에 해당하는 RGB값과 변환표의 RGB값의 최소 RMSE(root mean square error)값이 정수형 데이터로 변환된다. 영상에 삽입된 색 정보는 동영상을 저장하는 과정에서 압축이 되어, 초기 색 정보값에 왜곡이 발생한다. 따라서 4개의 픽셀에 해당하는 RGB의 평균값을 색 변환표와 비교하여 시각동기화 된 데이터를 추출하는 것이다. 그림 5는 색정보로부터 시각동기화 된 데이터를 추출하는 예시이다. 그림에서 예를 든 픽셀은 첫 번째 정수형 데이터를 의미하는 왼쪽 위의 4개 픽셀이며, 각 값은 실제 데이터에서 추출된 값을 활용하였다.

Pixel (x,y)	R	G	B
(0,0)	2	0	238
(0,1)	6	4	241
(1,0)	2	0	238
(1,1)	13	11	248
Mean	5.75	3.75	241.25

Table	R	G	B	RMSE
1	0	0	255	15.37
2	0	255	0	348.37
~	~	~	~	~
9	255	200	200	319.91
0	255	255	255	354.18

그림 5. 색정보로부터 시각동기화 데이터를 추출하는 과정 예시

Fig. 5. An example to extract synchronization data from color information.

IV. 실험결과 및 분석

그림 6은 실험을 위하여 차량에 설치된 장비를 나타낸다. 그림 6-(a)는 차량의 주행 영상을 저장하기 위해 차량 내 전면에 설치된 영상 센서이며, 그림 6-(b)는 차량의 운전석 아래쪽에 설치된 OBD 장치를 나타낸다. 또한 그림 6-(c)는 차량 뒤쪽에 설치된 BBB, GPS 수신기, MEMS-IMU를 나타낸다. 영상 센서와 OBD는 차량 앞쪽에서 USB를 통하여 BBB로 연결된다. MEMS-IMU는 진동에 민감하므로 차량의 뒤쪽에 고정하여 설치하였다. 또한 표 5는 활용된 센서의 제품명을 나타낸다.

그림 7은 한국항공대에서 제2자유로를 주행하여 한국항공대로 돌아오는 실험 궤적을 나타낸다. 도시된 실험 궤적은 제안된 기법을 활용하여 GPS 수신기로부터 획득한 차량의 위치를 활용하였다. 실험 궤적을 통하여 제안된 기법을 활용하여 차량의 궤적을 연속적으로 획득 할 수 있음을 확인할 수 있다.

그림 8은 시각동기화 된 데이터가 삽입된 주행 영상으로 BBB에서 동영상으로 저장되며, 왼쪽 위 부분이 시각동기화 된 색 정보가 저장된 픽셀을 나타낸다. 오른쪽 위 부분은 GPS로부터 획득된 GPS 시각 정보를 나타낸다. GPS 시각 정보는 GPS weeks와 seconds로 이루어져 있으며, 실제 영상에 변환하여 삽입할 때에도 GPS weeks와 seconds로 저장된다. 주행 영상의 크기는 320×240 이며, 프레임 속도는 10 fps (frame per second)로 설정되었다. 주행 영상의 크기와 프레임 속도는 임베디드 리눅스 보드의 성능에 따라 조절될 수 있다.

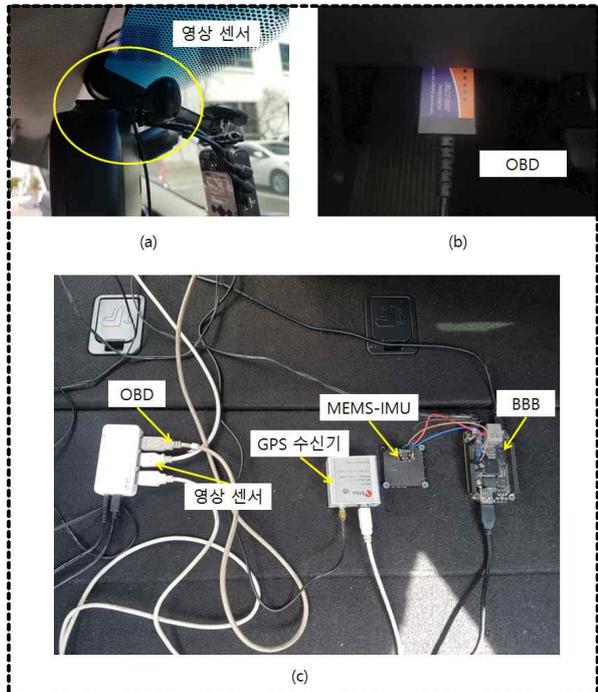


그림 6. 실험 장비의 개형

Fig. 6. Configuration of experiment equipments.

표 5. 활용된 센서의 제품명

Table 5. The product name of utilized sensors.

Sensor	GPS	Vision sensor	IMU	OBD
Product name	U-Blox AEK-4T	Logitech C170	MPU-6050	ELM-327



그림 7. 실험 궤적의 개형

Fig. 7. Configuration of experiment trajectory.



그림 8 실험 환경

Fig. 8. Experiment environment.

표 6. 영상에 삽입되는 데이터의 종류와 각 데이터들의 길이

Table 6. Data type and length.

Data	GPS weeks	GPS seconds	Frame count	ECEF_X	ECEF_Y	ECEF_Z	
Length	5	9	3	12	12	12	
Data	Acc_x	Acc_y	Acc_z	Gyro_x	Gyro_y	Gyro_z	Speed
Length	10	10	10	10	10	10	4

표 6은 영상에 삽입되는 데이터와 각 데이터들의 길이를 나타낸다. 영상에 삽입되는 데이터는 총 117의 길이를 가지며, 468(=117x4)개의 픽셀을 활용한다. 표 7은 실험을 통하여 획득한 영상으로부터 추출한 시각동기화 된 센서 데이터를 나타낸다.

그림 8의 영상을 활용하여 추출된 센서 데이터 표 7로부터, 픽셀값으로 저장된 GPS, MEMS-IMU, OBD의 데이터를 성공적으로 추출 하는 것을 확인할 수 있다. GPS 시간과 영상 센서의 frame count값이 동기 되는 것과 가속도계, 자이로 측정치의 데이터, 차량의 속력을 바탕으로 제안된 시각 동기화 기법을 활용하여 획득한 영상으로부터 GPS, MEMS-IMU, OBD의 각 시각동기화 된 데이터를 추출할 수 있음을 확인하였다.

V. 결론

본 논문에서는 GPS 시각 정보를 기준으로 시각동기화 된 영상 센서, 관성 센서와 OBD 측정치를 획득하는 기법을 제안하였다. 시각 정보와 위치 정보는 GPS 수신기로부터 획득할 수 있으며, OBD를 활용하여 차량의 속력을 획득할 수 있다. MEMS-IMU를 활용하여 차량의 자세에 대한 측정치를 획득할 수 있다.

제안된 기법은 영상 센서로부터 획득한 영상에 GPS 시각 정보와 위치 정보, 관성 센서와 OBD의 측정치를 색상으로 변환하여 영상 픽셀에 삽입하는 기법이다. 또한, 영상에 삽입된 시각동기화 된 센서 측정치들은 변환 과정을 통하여 추출할 수 있다. 각 센서들의 결합을 위하여 임베디드 리눅스 보드를 활용하였다.

제안된 기법의 성능 평가를 수행하기 위하여 한국항공대에서 출발하여 제2자유로를 주행하고, 다시 한국항공대학교로 돌아오는 차량 실험을 수행하였다. 실험 결과를 통하여 임베디드 리눅스 보드를 기반으로 각 센서들을 통합하고 시각동기화를 수행하며, 영상으로 저장할 수 있음을 확인할 수 있었다. 또한 획득한 주행 영상으로부터 시각동기화 된 센서 데이터를 추출할 수 있음을 확인하였다. 향후 본 논문에서 제안된 시각 동기화 기법은 지능형 자동차 및 무인 자동차 분야에서 효과적으로 활용될 수 있으리라 기대된다.

Acknowledgments

본 연구는 2016년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업 (NRF-2016R1D1A1B01009881) 에 의하여 이루어진 연구로서, 관계 부처에 감사드립니다.

표 7. 실험 영상으로부터 추출한 시각동기화 센서 데이터

Table 7. Extracted time-synchronized sensor data from experiment video.

GPS week	GPS time	count	ECEF_X	ECEF_Y	ECEF_Z	Acc_x	Acc_y	Acc_z	gyro_x	gyro_y	gyro_z	speed
1941	371137	0	-3035583	4048129	3870191	0.033497	-0.72976	9.838581	-0.01225	0.001598	-0.01332	0
1941	371137	1	-3035583	4048129	3870191	-0.00957	-0.71301	9.781158	-0.01758	0.004794	-0.00852	0
1941	371137	2	-3035583	4048129	3870191	0.004785	-0.7489	9.867293	-0.01811	0.009055	-0.00852	0
1941	371137	3	-3035583	4048129	3870191	-0.00957	-0.6843	9.860115	-0.02184	0.005326	-0.00746	0
1941	371137	4	-3035583	4048129	3870191	0.031104	-0.72258	9.807477	-0.01918	0.009055	-0.00799	0
1941	371137	5	-3035583	4048129	3870191	-0.00957	-0.73454	9.951036	-0.02077	0.005859	-0.00746	0
1941	371137	6	-3035583	4048129	3870191	0.047853	-0.77043	10.00846	-0.02077	0.011718	-0.00692	0
1941	371138	0	-3035583	4048129	3870191	-0.00957	-0.73694	9.905576	-0.02131	0.006392	-0.01065	0
:	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:
1941	372079	0	-3032820	4049590	3870785	-0.52399	-0.27516	9.661525	-0.01545	0.005326	-0.02876	85
1941	372079	1	-3032820	4049590	3870785	-0.5527	-0.43546	10.01085	-0.02237	0.006392	-0.03409	85
1941	372079	2	-3032820	4049590	3870785	-0.83264	-0.60534	11.15215	0.001598	-0.01651	-0.02823	85
:	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:
1941	372331	0	-3035705	4048014	3870177	-0.16031	0.411536	7.807221	-0.01918	0.056993	0.060189	37
1941	372331	1	-3035705	4048014	3870177	1.02884	-0.34454	10.08024	-0.14382	-0.06552	0.043145	37
1941	372331	2	-3035705	4048014	3870177	-0.0981	-0.8805	12.48485	0.102269	-0.03302	0.073505	37
1941	372331	3	-3035705	4048014	3870177	1.201111	0.004785	8.065627	0.045275	-0.0032	0.095877	35
1941	372331	4	-3035705	4048014	3870177	1.337492	-0.26319	9.649562	-0.03516	0.008522	0.101736	35
1941	372331	5	-3035705	4048014	3870177	1.079086	-0.4546	10.20466	-0.00692	0.014914	0.100138	35
1941	372332	0	-3035705	4048007	3870184	1.141295	-0.18184	9.206922	-0.01971	0.006924	0.104932	35
1941	372332	1	-3035705	4048007	3870184	1.34467	-0.87571	10.16159	-0.02024	-0.05007	0.08842	35
1941	372332	2	-3035705	4048007	3870184	0.86614	-0.44264	11.78381	-0.02237	0.023437	0.102801	35
1941	372332	3	-3035705	4048007	3870184	1.004913	-1.59111	12.57817	-0.04208	-0.03143	0.095877	37

References

[1] A. Soloviev, and D. Venable, "Integration of GPS and vision measurements for navigation in GPS challenged environments," in *Proceeding of the Position Location and Navigation Symposium (PLANS) 2010 IEEE/ION*, California: CA, pp. 826-833, 2010.

[2] J. H. Lim, K. H. Choi, J. Cho, and H. K. Lee, "Integration of GPS and monocular vision for land vehicle navigation in urban area," *International Journal of Automotive Technology*, Vol. 18, No. 2, pp. 345-356, Apr. 2017.

[3] C. Shen, Z. Bai, H. Cao, K. Xu, C. Wang, H. Zhang, and J. Liu, "Optical flow sensor/INS/magnetometer integrated navigation system for MAV in GPS-denied environment," *Journal of Sensors*, Vol. 2016, pp. 1-10, Jan. 2016.

[4] H. K. Lee, J. G. Lee, and G. I. Jee, "Calibration of Measurement Delay in GPS/SDINS Hybrid Navigation," *AIAA Journal of Guidance, Control, and Dynamics*, Vol. 25, No. 2, pp.240-247, 2002.

[5] B. Li, C. Rizos, H. K. Lee, and H. K. Lee, "A GPS-slaved time synchronization system for hybrid navigation," *GPS Solutions*, vol. 10, no. 3, pp. 207-217, July. 2006.

[6] L. Gasparini, O. Zadedyurina, G. Fontana, D. Macii, A. Boni, and Y. Ofek, "A digital circuit for jitter reduction of GPS-disciplined 1-pps synchronization signals," in *Proceeding of the 2007 IEEE International Workshop*, Sardinia: Italy, pp. 84-88, 2007.

[7] J. Lin, S. C. Chen, Y. T. Shih, and S. H. Chen, "A study on remote on-line diagnostic system for vehicles by integrating the technology of OBD, GPS, and 3G," *World Academy of Science, Engineering and Technology*, Vol. 56, pp. 435-441, 2009.

[8] OBD-II PIDs. Available: https://en.wikipedia.org/wiki/OBD-II_PIDs

[9] Beagleboard. Available: <https://beagleboard.org/black>

[10] J. H. Lim, Estimation for Displacement of Vehicle based on GPS and Monocular Vision sensor, Master dissertation, Korea Aerospace University, Korea, 2013.



임 준 후 (JoonHoo Lim)

2009년 8월 : 한국산업기술대학교 메카트로닉스공학과 (공학사)
 2010년 3월~2011년 8월 : 한국항공우주연구원 (연구원)
 2013년 8월 : 한국항공대학교 항공전자공학과 (공학석사)
 2013년 9월~현재: 한국항공대학교 대학원 항공전자공학과 박사과정
 ※ 관심분야 : 복합 측위 기법, 임베디드 시스템



최 광 호 (Kwang-Ho Choi)

2010년 8월 : 한국항공대학교 전자 및 항공전자공학과 (공학사)
 2012년 8월 : 한국항공대학교 항공전자공학과 (공학석사)
 2012년 9월~현재: 한국항공대학교 대학원 항공전자공학과 박사과정
 ※ 관심분야 : 항법시스템, 전리층감시



유 원 재 (Won Jae Yoo)

2014년 2월 : 한국항공대학교 전자 및 항공전자공학과 (공학사)
 2016년 2월 : 한국항공대학교 대학원 항공전자정보공학과 (공학석사)
 2016년 3월~현재: 한국항공대학교 대학원 항공전자정보공학과 박사과정
 ※ 관심분야 : SDR, 소프트웨어 GPS/GNSS 수신기



김 라 우 (La Woo Kim)

2015년 2월 : 한국항공대학교 전자 및 항공전자공학과 (공학사)
 2017년 2월 : 한국항공대학교 대학원 항공전자정보공학과 (공학석사)
 2017년 3월~현재: 한국항공대학교 대학원 항공전자정보공학과 박사과정
 ※ 관심분야 : GPS/BeiDou, 고도계, 임베디드 시스템



이 유 담 (Yu-Dam Lee)

2016년 2월 : 한국항공대학교 전자 및 항공전자공학과 (공학사)
 2016년 2월~현재: 한국항공대학교 대학원 항공전자정보공학과 석사과정
 ※ 관심분야 : GPS/Vision



이 형 근 (Hyung Keun Lee)

1990년 2월 : 서울대학교 제어계측공학과 (공학사)
 1994년 2월 : 서울대학교 제어계측공학과 (공학석사)
 2002년: 서울대학교 전기컴퓨터공학부 (공학박사)
 1994년 3월~1998년 2월: 현대우주항공(주) (주임연구원)
 2003년 9월~현재: 한국항공대학교 항공전자정보공학부 교수
 ※ 관심분야 : 항법/측위시스템, 위치정보, ITS, LBS