

# GNSS, 비전 및 레이더를 이용한 H-SPAWN 알고리즘 기반 자동차 협력 항법시스템

고 현 우\*, 공 승 현<sup>o</sup>

## Vehicular Cooperative Navigation Based on H-SPAWN Using GNSS, Vision, and Radar Sensors

Hyunwoo Ko\*, Seung-Hyun Kong<sup>o</sup>

### 요 약

본 논문에서는 상용 차량에 많이 쓰이는 GNSS, 비전 센서, 레이더 센서를 이용한 협력 항법시스템을 제안하였다. 기존의 무선신호(예:UWB) 기반의 협력 항법시스템 (Hybrid-Sum Product Algorithm over Wireless Network, H-SPAWN)을 바탕으로 하여 무선신호 방식 대신 비전 센서와 레이더 센서를 모델링하여 알고리즘을 구성하였다. 모의실험을 통해, 사용하는 센서에 따른 성능을 비교분석하였으며, 특히 레이더 센서를 사용할 시 다른 두 센서(비전, UWB) 대비 최대 50%의 오차저감 효과를 보임을 확인하였다. 따라서 상용 차량에 쓰이는 센서 기반의 협력 항법시스템은 기존의 협력항법 시스템의 정확도를 향상시키면서 적용비용을 줄일 수 있는 기술이 될 수 있을 것이다.

**Key Words** : Cooperative positioning, Radar, Vision, GNSS, H-SPAWN

### ABSTRACT

In this paper, we propose a vehicular cooperative navigation system using GNSS, vision sensor and radar sensor that are frequently used in mass-produced cars. The proposed cooperative vehicular navigation system is a variant of the Hybrid-Sum Product Algorithm over Wireless Network (H-SPAWN), where we use vision and radar sensors instead of radio ranging(i.e.,UWB). The performance is compared and analyzed with respect to the sensors, especially the position estimation error decreased about fifty percent when using radar compared to vision and radio ranging. In conclusion, the proposed system with these popular sensors can improve position accuracy compared to conventional cooperative navigation system(i.e.,H-SPAWN) and decrease implementation costs.

### I. 서 론

Global Navigation Satellite System (GNSS) 은 위성에서 송신하는 신호들을 지상의 수신기에서 삼각측

량 방식을 통해 위치를 계산하는 항법 시스템으로, 차량 및 항공기를 비롯한 다양한 분야에서 널리 사용되고 있다. 이동수단 발전할수록 정밀측위에 대한 필요성이 강조되었는데, 특히 자동차 기술 부분에서 각광

※ 본 연구는 국토교통부 철도기술연구사업인 고정밀 철도교통 위치검지 기술개발 연구비 지원에 의해 수행되었습니다. (15RTRP-B067297-03)

• First Author : Department of CCS Graduate School for Green Transportation, Korea Advanced Institute of Science and Technology, kohyunwoo@kaist.ac.kr, 학생회원

o Corresponding Author : Department of CCS Graduate School for Green Transportation, Korea Advanced Institute of Science and Technology, skong@kaist.ac.kr, 종신회원

논문번호 : KICS2015-07-237, Received July 26, 2015; Revised November 12, 2015; Accepted November 12, 2015

받고 있는 자율주행시스템은 차로구분이 가능할 정도 (약 50cm 이하)의 정밀측위 기술을 필요로 한다.

그러나 GNSS 만으로는 다양한 오차요소들 (시각 오차, 이온층·전리층 오차, 잡음, 신호 음영지역 오차, 다중경로 오차 등)<sup>[1]</sup>로 인해 정확한 위치 측위 정확도를 보장하기 어렵기 때문에, 과거부터 현재까지 측위 정확도를 향상시키기 위한 많은 기술들이 연구·개발되어 왔다. Differential GNSS (DGNSS)를 통해 구조적 측정오차 (시각오차, 이온층·전리층 오차 등)를 제거하는 방식이 널리 사용되고 있고, GNSS에 다양한 센서들을 융합함으로써 측위 정확도를 향상시키려는 방식 (관성 항법 시스템(Inertial Navigation System, INS)<sup>[2]</sup>, 차량속도계, 카메라, 레이더 등)<sup>[3]</sup> 또한 많이 사용되고 있다.

최근 차량간 통신기술이 발전하면서<sup>[4,5]</sup>, 차량 한 대가 아닌 다수의 차량들이 서로 협력적으로 위치정보를 공유하고 무선신호를 통해 측정된 상대거리(radio signal ranging, 예를 들어 UWB)를 이용하는 협력 항법시스템에 대한 연구가 진행되고 있다. 이러한 협력 항법시스템은 차량 집단 전체의 측위 정확도를 비약적으로 향상시키는 장점이 있다. 그 중에서도 Hybrid-Sum Product algorithm over Wireless Network (H-SPAWN)<sup>[6]</sup> 기술은 간단한 계산 과정을 거치면서 최적 근사해(Near optimal solution)를 제공하는 GNSS 기반 협력측위 기술로 위성신호 음영지역에서의 위치정확도 향상과 차량 전체집단의 위치 정확도 향상시킬 수 있는 기술이다. 그러나 무선신호 거리측정 센서(UWB모듈)은 현재 상용 차량에는 장착되지 않는 제약이 있다.

따라서 본 논문에서는 현재 양산되는 상용 차량에서 많이 사용되는 비전센서(카메라)와 레이더를 사용하여 신호음영지역에서의 위치정확도를 향상시키고, 차량집단 전체 위치정확도를 향상시킬 수 있는 H-SPAWN 기반의 협력 항법시스템을 소개할 것이다. II장에서는 제안기술을 위한 기호(notation)을 정의하고 시스템 및 측정값 등의 관계식을 수식화 및 H-SPAWN 기반의 제안 기술을 설명한다. III장에서는 모의실험을 통해 성능평가를 하며 IV장에서 결론으로 끝맺을 것이다.

## II. 본 론

### 2.1 시스템 모델

이 단원에서는 제안하는 기술을 설명하기 위한 기본적인 기호를 정의하고 도심환경에서의 GNSS 및

차량 네트워크에서의 관계식을 수식화 할 것이다. Fig.1의 그림은 위성 신호들과 차량 네트워크 상황을 표현한다. 차량들은 수신 위성수가 충분한 차량( $p_1$ )과 위성을 전혀 수신하지 못하는 차량( $p_2$ ), 수신위성 수가 불충분한 차량( $p_3, p_4$ )들로 구분할 수 있다. 각 차량은 2~3개의 이웃 차량들과 차량 네트워크를 통해 연결되어있다. 차량 네트워크를 구성하는 차량의 전체 집합은  $P$ , 각각의 차량은  $p_i$ 로 표현하며,  $P$ 에서 보이는 위성들의 전체 집합을  $G$ , 각각의 위성을  $g_j$ 로 나타낸다. 실선의 화살표는 위성으로부터 차량에 송신되는 위성신호를 표현한다. 차량간 무선통신은 두 줄의 화살표로 표시되며, 이를 통해 서로의 위치 정보를 주고받는다. 각 차량들은 사용하는 센서에 따라 차량간 상대거리, 상대각도, 혹은 그 모두를 측정한다. 관심 있는 차량의 상태변수는 아래와 같이 정의한다.

$$\mathbf{X}_u^t = [x_u^t \ y_u^t \ z_u^t \ b_u^t]^T \quad (1)$$

이때 아래첨자  $u$ 는 사용자(user)를 의미하고 위치자  $t$ 는 미소 시간단위(instant time step)를 의미한다, 벡터  $[x,y,z]$ 는 East- North-Up (ENU) coordinate 기준의 3차원 위치 벡터를 나타내며, 변수  $b$ 는 사용자 수신기의 시각오차(clock bias)로 거리단위[m]로 표현된다. 즉, 상태변수  $\mathbf{X}_u^t$ 는 시간스텝  $t$ 일 때, 사용자 차량의 3차원 위치와 시각오차를 변수로 가지는 벡터이다. 같은 방식으로 상태변수  $\mathbf{X}_{p_i}^t$ 는 시간스텝  $t$ 일 때,  $i$ 번째 차량의 3차원 위치와 시각오차를 변수로 가지는 벡터이다.

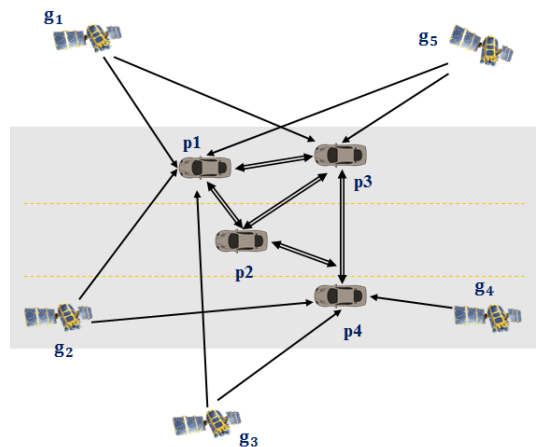


그림 1. 위성 신호들과 차량 네트워크 환경  
Fig. 1. Satellite signals and vehicular networks

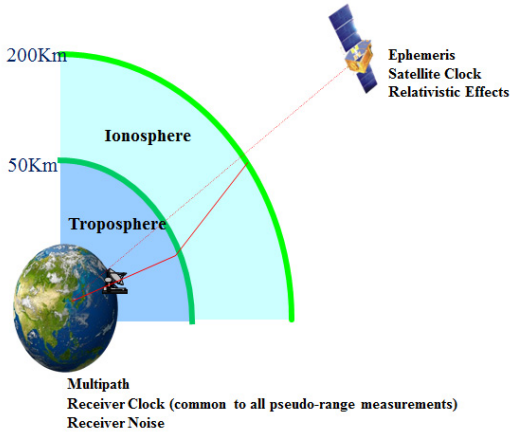


그림 2. 위성 신호 및 오차요소  
Fig. 2. Satellite signal and error components

차량에서 GNSS 수신기를 통해 수신하는 위성의 의사거리(pseudorange)  $\rho_g^t$ 는 다음과 같이 수식화 할 수 있다.

$$\rho_g^t = \sqrt{(x_g^t - x_u^t)^2 + (y_g^t - y_u^t)^2 + (z_g^t - z_u^t)^2} + b_u^t + v_g^t \quad (2)$$

이때  $v_g$ 는 의사거리 노이즈를 나타내며 시각오차를 제외한 나머지 오차요소 (Fig.2, 이온층·전리층 오차, 수신기 잡음, 신호 음영지역 오차, 다중경로 오차 등)를 포함한다. 본 논문에서는 개활지 도로상황(예:고속도로)을 가정하여, 의사거리의 노이즈 오차  $v_g$ 는 영 평균 가우시안 분포(zero-mean Gaussian distribution)를 따른다고 가정하며,  $v_g$ 의 표준편차  $\sigma_g$ 는 GNSS의 경우 7.5m, DGNS의 경우 2.5m 로 가정한다<sup>1,7)</sup>.

차량에 부착되는 비전 센서(카메라)의 경우, 센서 시야 내의 차량들을 인식하여 사용자 차량과 상대 차량간의 상대각도(local angle)  $\theta_p^t$ 를 측정할 수 있다<sup>8)</sup>. Fig.3은 두 차량과 비전 센서 시스템을 나타낸 것이다.

위 그림에서 변수  $\varphi$ 는 x좌표축 기준으로 사용자 차량의 진행각도 (heading angle)를 나타내며 Odometer, INS, GPS로 계산 및 측정할 수 있다. 변수  $\psi$ 는 상대차량의 x좌표축 기준으로의 진행각도이며 다음과 같이 계산할 수 있다.

$$\psi_p^t = \tan^{-1} \left( \frac{y_p^t - y_u^t}{x_p^t - x_u^t} \right) \quad (3)$$

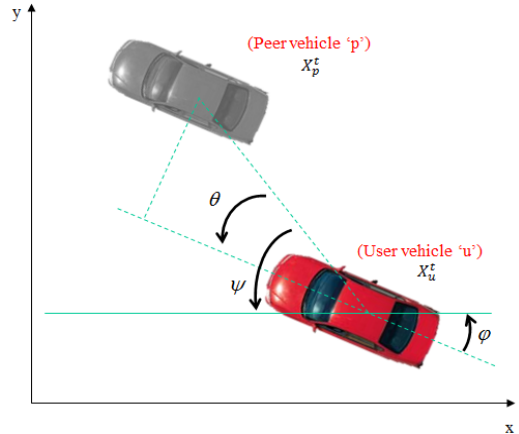


그림 3. 비전 센서 시스템  
Fig. 3. Vision sensor system

변수  $\theta$ 는 사용자 차량의 진행방향을 축으로 상대차량과 사용자 차량간의 상대각도를 나타내며, 다음과 같이 모델링 할 수 있다.

$$\theta_p^t = (\psi_p^t - \varphi_u^t) + v_\theta^t \quad (4)$$

비전 센서의 노이즈 오차  $v_\theta^t$ 는 영 평균 가우시안 분포를 따른다고 가정하며,  $v_\theta^t$ 의 표준편차  $\sigma_\theta$ 는 거리 제공값에 반비례하는 특징이 있다.

차량에 부착되는 레이더 센서의 경우 일반적으로 차량간 상대거리와 상대각도 정보를 모두 측정할 수 있다<sup>9)</sup>. Fig. 4는 두 차량과 레이더 센서 시스템을 나

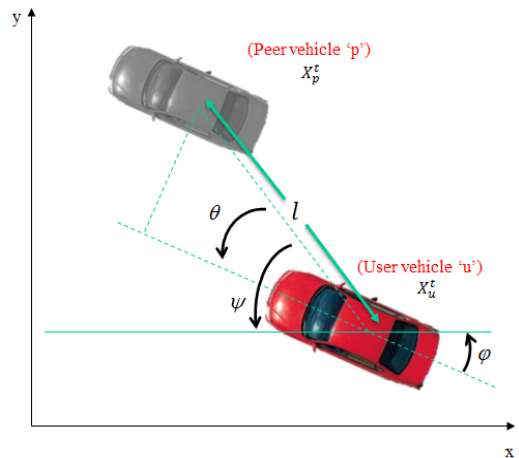


그림 4. 레이더 센서 시스템  
Fig. 4. Radar sensor system

타낸다.

위 그림에서 변수  $l$ 은 상대차량과 자기차량간의 상대거리를 나타내며 아래와 같이 표현할 수 있다. (각도 관련 변수는 앞서 소개한 비전 센서 시스템과 같이 설명을 생략한다.)

$$l_p^t = \sqrt{(x_p^t - x_u^t)^2 + (y_p^t - y_u^t)^2 + (z_p^t - z_u^t)^2} + v_l^t \quad (5)$$

변수  $v_l$ 는 상대거리의 측정치의 노이즈를 나타내며, 이 노이즈는 영 평균 가우시안 분포를 따른다고 가정하고, 표준편차  $\sigma_l$ 는 1m로 가정한다<sup>[10]</sup>.

### 2.2 H-SPAWN 알고리즘

기존의 H-SPAWN 알고리즘은 GNSS의 의사거리와 센서 네트워크의 상대거리를 측정치로 사용하고, 위치 정보를 서로 주고받는 협력측위(cooperative positioning) 알고리즘이다. 이 알고리즘은 협력적 측위방식이기 때문에 정확도 향상뿐만 아니라 가시위성이 부족한 경우에도 측위가 가능한 장점이 있다<sup>[6]</sup>. 특히 H-SPAWN의 항법해는 베이지안 근사해이기 때문에 확장칼만필터기반의 협력항법시스템보다 정확한 해를 도출하며, 파티클 필터 기반의 협력항법 시스템보다 계산량이 적은 장점이 있다. 이 알고리즘은 정밀 측위가 필요한 자율주행 대상의 측위 시스템에서 핵심적인 기술로 예상되므로 본 논문에서 제안하는 알고리즘은 이 H-SPAWN 알고리즘을 바탕으로 한다.

H-SPAWN의 구조는 Fig.5와 같이 factor graph로 표현할 수 있으며, 원으로 표현된 것은 변수 노드(variable node)이고 사각형으로 표현된 것은 요인 노드(factor node)이다. 변수 노드  $X_u$ 는 식 (1)에서 정의한 상태변수를 나타내고, 요인 노드  $T_u$ 는  $X_u$ 의 예측

(prediction)을,  $S_u^g$ 는 GNSS 위성 의사거리 측정값의 가능도(likelihood)를 나타내고,  $N_u^p$ 는 무선신호로 측정된 차량간 상대거리의 가능도를 나타낸다.

Factor graph에서 변수는 변수노드와 요인노드에서 sum-product algorithm (SPA)<sup>[11]</sup>을 통해 계산되는 메시지로 계산할 수 있으며, 메시지는 Fig.5에서 화살표로 표현 된다. H-SPAWN 알고리즘에서 계산되는 메시지들은 차량의 동적모델에 따른 예측 메시지  $\omega_{T_u \rightarrow X_u}$ , 의사거리 측정값 가능도 메시지  $\omega_{S_u^g \rightarrow X_u}$ , 상대거리 측정값 가능도 메시지  $\omega_{N_u^p \rightarrow X_u}$ , 다른 노드에게 방송하는 방송메시지  $\omega_{X_u \rightarrow N_u^p}$ 로 구성된다. 위 메시지들은 [6]에 의해 각각 아래와 같이 계산되며 오차에 대한 확률분포를 의미한다.

$$\omega_{T_u \rightarrow X_u} = \frac{1}{\lambda} \exp\left(-\frac{1}{2}(\mathbf{X}_u^t - \mu_{X_u^t})^T \Sigma_{X_u^t}^{-1} (\mathbf{X}_u^t - \mu_{X_u^t})\right) \quad (6)$$

$$\omega_{S_u^g \rightarrow X_u} = \frac{1}{\lambda} \exp\left(-\frac{\sqrt{(x_u^t - x_g^t)^2 + (y_u^t - y_g^t)^2 + (z_u^t - z_g^t)^2} + b_u^t - \rho_g^t}{2\sigma_g^2}\right) \quad (7)$$

$$\omega_{N_u^p \rightarrow X_u} = \frac{1}{\lambda} \exp\left(-\frac{1}{2}(\Phi^t - l_p^t \frac{\Phi^t}{\|\Phi^t\|})^T \Sigma_{p_i+l}^{-1} (\Phi^t - l_p^t \frac{\Phi^t}{\|\Phi^t\|})\right) \quad (8)$$

여기에서  $\lambda$ 는 표준화 인수(normalize factor),  $\mu_{X_u}$ 와  $\Sigma_{X_u}$ 는 상태변수  $X_u$ 의 평균과 분산행렬,  $\Phi^t$ 는 사용자 차량과 이웃 차량의 위치의 차를 나타내는 벡터  $\Phi^t = [(x_u^t - x_{p_i}^t), (y_u^t - y_{p_i}^t), (z_u^t - z_{p_i}^t)]^T$ ,  $\Sigma_{p_i+l}$ 는 이웃 차량  $p_i$ 의 분산과 상대거리 노이즈 오차 분산  $\sigma_p^2$ 을 합한 분산행렬을 나타낸다. 사용자  $u$ 에서 이웃 차량  $p_i$ 로 방송되는 메시지  $\omega_{X_u \rightarrow N_u^p}$ 는 사용자가  $p_i$ 로부터 받는 메시지  $\omega_{N_u^p \rightarrow X_u}$ 를 제외한 모든 메시지들의 곱으로 계산된다. 마지막으로 상태변수  $X_u$ 는 식 (16)과 같이  $X_u$ 로 들어오는 모든 메시지들의 곱으로 값을 추론할 수 있다. 그러나 메시지들의 분포가 모두 가우시안 분포가 아니기 때문에 식 (8),(19)와 같이 파티클 방식을 사용하여 계산한다<sup>[6,12]</sup>.

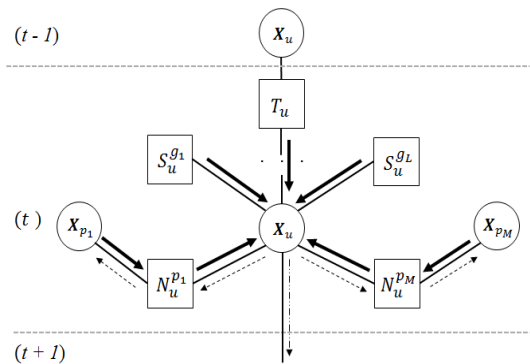


그림 5. H-SPAWN 알고리즘의 factor graph  
Fig. 5. Factor graph of H-SPAWN algorithm

### 2.3 비전 센서와 레이더를 이용한 H-SPAWN 기반 알고리즘

GNSS와 무선 거리측정을 기반으로 한 기존의 협력 항법 시스템 H-SPAWN은 정확도와 가용성에 대한 우수성에도 불구하고, 무선신호 거리측정 센서(UWB 모듈)의 제약(현재 상용 차량에는 장착되지 않음, 거리측정 거리가 상대적으로 짧음 등)의 큰 단점이 존재한다. 따라서 이 절에서는 이러한 단점을 해결하기 위해 상용 차량에 이미 구비된 비전 센서(상대각도정보)와 레이더 센서(상대거리 및 각도정보)를 대신 이용하여 협력항법 시스템을 구현하고 III장에서 그 성능을 분석할 것이다.

Fig. 6는 GNSS, 비전 센서와 레이더 센서를 사용한 경우의 factor graph를 나타내는데, 이때 점선 박스 안의 요인노드  $V_u^p$ 는 비전 센서의 요인노드이며 상대각도 측정값의 가능도를 계산한다. 또한 요인노드  $R_u^p$ 는 레이더 센서의 상대각도 측정값과 상대거리 측정값의 가능도를 계산한다. 앞서 II-1에서 모델링한 비전 및 레이더 센서를 H-SPAWN알고리즘에 적용하여 각 센서의 요인노드에서 메시지를 계산하도록 한 것이다. 따라서 기존 H-SPAWN에서의 무선 신호 바탕의 상대거리 측정값 가능도 메시지  $\omega_{N_u^{p_i} \rightarrow X_u}$ 는 비전 센서 메시지  $\omega_{V_u^{p_i} \rightarrow X_u}$  혹은 레이더 센서 메시지  $\omega_{R_u^{p_i} \rightarrow X_u}$ 로 대체된다. 메시지  $\omega_{V_u^{p_i} \rightarrow X_u}$ 와  $\omega_{R_u^{p_i} \rightarrow X_u}$ 는 위성 메시지와 같은 방식으로 계산될 수 있는데 아래와 같이 계산한다.

$$\omega_{V_u^{p_i} \rightarrow X_u} = \frac{1}{\lambda} \exp\left(-\frac{(\theta_{u,cal}^t - \theta_{u,meas}^t)^2}{2\sigma_V^2}\right) \quad (9)$$

$$\omega_{R_u^{p_i} \rightarrow X_u} = \frac{1}{\lambda} \exp\left(-\frac{(\theta_{u,cal}^t - \theta_{u,meas}^t)^2}{2\sigma_{R1}^2} - \frac{(l_{u,cal}^t - l_{u,meas}^t)^2}{2\sigma_{R2}^2}\right) \quad (10)$$

이때 변수  $\theta_{u,cal}^t$ 와  $l_{p,cal}^t$ 는 각각 상대차량의 위치정보로 계산된 상대각도와 상대거리 값이며 아래와 같이 계산된다.

$$\theta_{u,cal}^t = \psi_u^t - \varphi_u^t \quad (11)$$

$$l_{p,cal}^t = \sqrt{(x_p^t - x_u^t)^2 + (y_p^t - y_u^t)^2 + (z_p^t - z_u^t)^2} \quad (12)$$

또한 변수  $\sigma_{V}^2$ 와  $l_{p,meas}^t$ 는 각각 센서로부터 측정된 상대각도와 상대거리 값이다. 변수  $\sigma_V^2$ 는 비전 센서의 각도 분산을 나타내고,  $\sigma_{R1}^2$ 와  $\sigma_{R2}^2$ 는 각각 레이더 센서의 각도, 거리 분산값들이며, 위 세 분산들은 아래와 같이 계산할 수 있다.

$$\sigma_V^2 = \sigma_{\theta_V}^2 + (\sigma_{p_x}^2 + \sigma_{p_y}^2) \quad (13)$$

$$\sigma_{R1}^2 = \sigma_{\theta_R}^2 + (\sigma_{p_x}^2 + \sigma_{p_y}^2) \quad (14)$$

$$\sigma_{R2}^2 = \sigma_l^2 + \text{trace}(\sum p_i) \quad (15)$$

변수  $\sigma_{\theta_V}^2$ ,  $\sigma_{\theta_R}^2$ 은 각각 비전 센서와 레이더 센서의 각도 분산값을 나타내며  $\sigma_{p_x}^2$ ,  $\sigma_{p_y}^2$ 는 각각 상대차량  $p_i$ 의 x,y값에 해당하는 분산값을 나타낸다.

위와 같이 계산된 메시지들로 최종적으로 계산되는 상태변수  $X_u^t$ 는 [6]에 의해 다음과 같이 계산된다.

$$\hat{p}(X_u^t) \propto w_{T_u \rightarrow X_u}^t \prod_{g \in G} w_{S_u^g \rightarrow X_u}^t \prod_{p \in P} w_{(V_u^{p_i} \text{ or } R_u^{p_i}) \rightarrow X_u}^t \quad (16)$$

위 식에서 상태변수  $X_u^t$ 를 추론하기 위해 GNSS 메시지( $\omega_{S_u^{p_i} \rightarrow X_u}$ ), 비전 센서 메시지( $\omega_{V_u^{p_i} \rightarrow X_u}$ ) 혹은 레이더 센서 메시지( $\omega_{R_u^{p_i} \rightarrow X_u}$ )가 사용되는 것을 볼 수 있다. 기존의 H-SPAWN 알고리즘에서는 무선신호 기반의 거리측정값 메시지( $\omega_{N_u^{p_i} \rightarrow X_u}$ )가 비전과 레이더 센서 메시지를 대신한다. 이때 확률분포  $\hat{p}(X_u^t)$ 는 가우시안 분포로 아래와 같이 근사되고

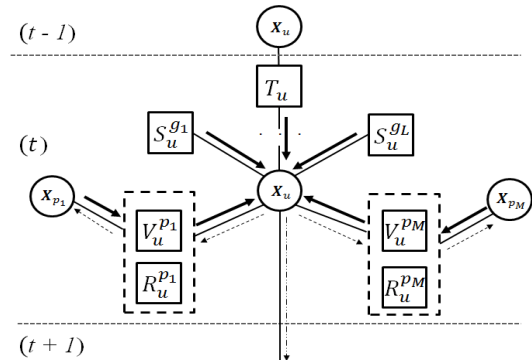


그림 6. 비전 센서 혹은 레이더 센서를 사용한 H-SPAWN 알고리즘의 factor graph  
Fig. 6. Factor graph of H-SPAWN algorithm using vision sensor or radar

$$\hat{p}(\mathbf{X}_u^t) \approx N(\hat{\mu}_{X_u^t}, \hat{\Sigma}_{X_u^t}) \quad (17)$$

추정된 상태변수  $\mathbf{X}_u^t$ 의 평균과 분산  $\hat{\mu}_{X_u^t}, \hat{\Sigma}_{X_u^t}$ 는 importance sampling<sup>[12]</sup>에 의해 아래와 같이 계산할 수 있다.

$$\hat{\mu}_{X_u^t} = \sum_{q=1}^N W_q z_q \quad (18)$$

$$\hat{\Sigma}_{X_u^t} = \frac{\sum_{q=1}^N W_q (z_q - \hat{\mu}_{X_u^t})(z_q - \hat{\mu}_{X_u^t})^T}{1 - \sum_{q=1}^N W_q^2} \quad (19)$$

이때  $z_q$ 는 이전 시간스텝 혹은 반복스텝 (iteration step)에서의 추출한 q번째 샘플을 나타내고,  $W_q$ 는 메시지  $\omega_{T_u \rightarrow X_u}, \omega_{S_u^a \rightarrow X_u}, \omega_{V_u^p \rightarrow X_u}$  혹은  $\omega_{R_u^p \rightarrow X_u}$  들로 계산된 q번째 샘플의 가중치 값이며, N은 샘플들의 총 수를 나타낸다.

### III. 모의실험과 성능평가

이 단원에서는 모의실험을 통해 앞 절에서 제안한 각 센서 별 알고리즘의 성능을 3차원 위치의 평균 제곱근오차(RMSE)를 통해 확인해 보도록 한다. 첫 번째 모의실험은 Fig.7의 위성신호 환경과 차량 네트워크 환경에서 진행되었으며 1000번의 몬테칼로 반복실험을 수행하였다. 모의실험에서는 아홉 대의 차량이 왼쪽방향으로 Fig.7의 대형을 유지하며 일정속도로 주행하고 있다. i번째의 차량은  $p_i$ 로 나타내며, 차량들이 수신하는 총 위성의 수는 5개로 각 차량에 수신되는 위성의 수는 Fig.7의 괄호와 같다. 위성들은 고도가 30도 이상으로 균등하게 분포되며 방위각은 Dilution of precision(DOP)를 고려하여 랜덤하게 설정하였다. 각 차량의 수신 위성은 4개가 되지 못해 기존의 위성 리시버로는 측위가 불가능하지만, 초기위치가 충분히 주어졌을 때 협력항법 시스템은 위성수가 4개 이하가 되더라도 비교적 정확한 측위 결과를 낼 수 있다. 의사거리 노이즈  $v_g$ 의 크기는 GNSS일 경우 7.5m로 설정하고 DGNSS일 경우 2.5m로 설정하였다<sup>[1]</sup>. 차량들은 모두 평면상에 존재하며 개활지를 주행하는 것을 가정하였다. 차량 각각의 상태변수 초기값은 충분히 정확하게 알고 있다고 가정하며, 차량의 동적모델 정

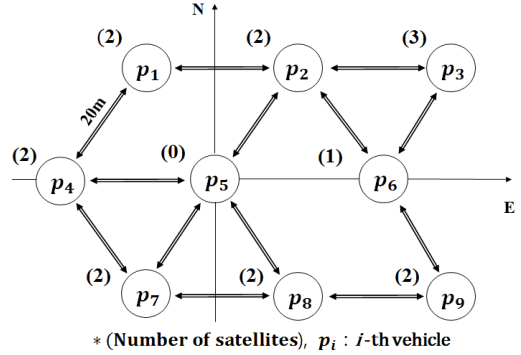


그림 7. 협력 차량 네트워크의 대형 및 가시위성  
Fig. 7. Formation of the cooperative vehicular network and visible satellites at each vehicle node

확도에 따라 예측오차(prediction error or time update error)를 두 가지 경우로 나누었다. 예측오차는 상태변수의 분산을 다음과 같은 두 가지 경우로 설정하여 계산하였다<sup>[13]</sup>.

$$\Sigma_{X_u,1} = \text{diag}([\sigma_\Delta^2 \sigma_b^2]) = \text{diag}([(111) 1]) \quad (20)$$

$$\Sigma_{X_u,2} = \text{diag}([\sigma_\Delta^2 \sigma_b^2]) = \text{diag}([(5^2 5^2 5^2) 5^2]) \quad (21)$$

이때 변수  $\sigma_\Delta^2$ 는 3차원 위치의 분산 벡터  $\sigma_\Delta^2 = [\sigma_x^2 \sigma_y^2 \sigma_z^2]$  이다.

Fig.8은 비전 센서를 사용했을 때의 각 차량들의 평균 제곱근 위치 오차값을 나타내고, Fig.9는 레이더 센서를 사용했을 때의 결과이며 Fig.10은 기존의 H-SPAWN의 결과를 나타낸다. 그래프의 x축은 차량 인덱스를 나타내고 y축은 3차원 위치오차를 나타낸다. 이 세 가지 그래프를 비교하여 보면, 세 그래프 모두 예측오차가 정확할 경우(그래프에서  $[\sigma_\Delta \sigma_b] = [1 1]$ 로 표시)에는 DGNSS의 결과값과 GNSS의 결과값이 큰 차이가 없었으나, 예측오차가 부정확할 경우(그래프에서  $[\sigma_\Delta \sigma_b] = [5 5]$ 로 표시)에는 DGNSS의 오차값이 GNSS의 오차값보다 작은 것을 확인할 수 있다. 그 이유는 DGNSS의 의사거리 노이즈 크기가 GNSS 노이즈의 30% 수준으로 작기 때문이다.

Fig.8의 비전 센서를 사용한 경우를 살펴보면, 예측오차가 정확할 경우 차량 노드들의 오차가 약 1.5m~2m 정도임을 확인할 수 있다. 그러나 예측오차가 부정확할 경우 차량 노드들의 오차가 약 5.5m~13m로 발생하였다. Fig.9의 레이더 센서를 사용한 경우 예측오차가 정확할 경우 오차가 약

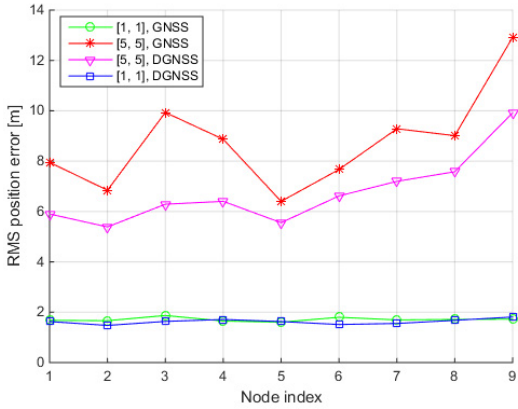


그림 8. 비전 센서 사용 시 평균 제공된 위치 오차  
Fig. 8. RMS position error using vision sensor

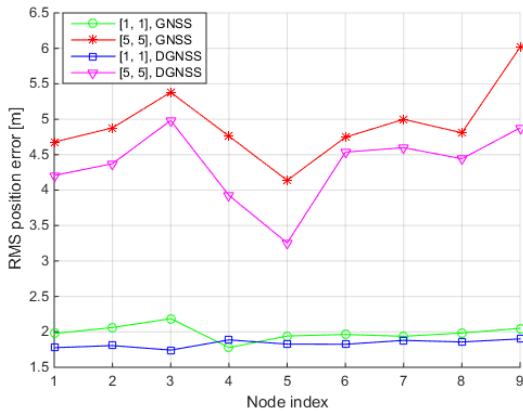


그림 9. 레이더 센서 사용 시 평균 제공된 위치 오차  
Fig. 9. RMS position error using radar sensor

1.5m~2.2m 정도로 비전 센서를 사용한 것과 비슷하다. 예측오차가 부정확 할 경우, 오차가 약 3.2m~6m 수준으로 비전 센서만 사용할 경우보다 약 50% 정도 측위 결과가 향상된 것을 확인하였다. 이것은 레이더 센서는 거리정보와 각도정보를 모두 사용하는 반면에 비전 센서는 각도정보만을 사용하기 때문이다.

Fig.10은 무선 신호를 이용한 상대거리 측정을 바탕으로 한 기존의 H-SPAWN 기술의 결과이다. 예측치가 정확할 경우는 기존 H-SPAWN 결과가 비전 센서를 사용했을 때와 레이더 센서를 사용했을 때와 거의 비슷하다. 예측치가 부정확 할 경우, 기존 H-SPAWN 기술이 Fig.8의 비전 센서보다 위치오차가 더 작다. 비전센서의 각도값은 계산될 때에 상대차량의 위치 오차에 더 민감하기 때문에 예측치가 부정확할 경우 더 큰 오차를 보이게 된다. 따라서 기존 H-SPAWN과 비전 센서, 레이더 센서의 각 차량별

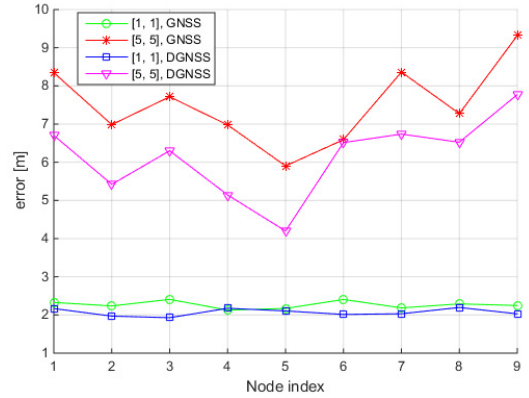


그림 10. 무선 신호 상대거리 측정기술 사용 시 평균 제공된 위치 오차 (기존 H-SPAWN)  
Fig. 10. RMS position error using radio ranging (conventional H-SPAWN)

오차 양상이 조금씩 다른 이유는 민감한 각도 정보를 사용여부에 따른 결과로 생각된다.

Fig.11은 각 차량들이 서로 다른 센서를 사용할 경우의 대형을 나타낸다. 이때 5번 차량노드를 제외한 모든 차량은 위성을 4개씩 동일하게 수신한다고 가정하여 사용하는 센서의 종류에 따른 위치 정확도를 비교해 보도록 한다. Fig.12는 Fig.11 상황에 대한 각 차량의 오차 결과이다. 예측치가 정확할 경우는 각 차량 간의 위치 오차결과가 크지 않으므로 예측치가 부정확 할 경우를 살펴보도록 하겠다. 비전 센서를 사용한 1, 6, 7번 차량의 오차가 큰 것을 확인 할 수 있고, 3번 차량의 경우 연결된 이웃 차량이 상대적으로 작아 오차가 큰 것을 알 수 있다. 레이더를 사용하는 2, 4, 9번 차량들은 오차값이 작았으며, 무선신호를 사용하는 5번 8번 차량들은 연결된 차량이 3개 이상씩으로

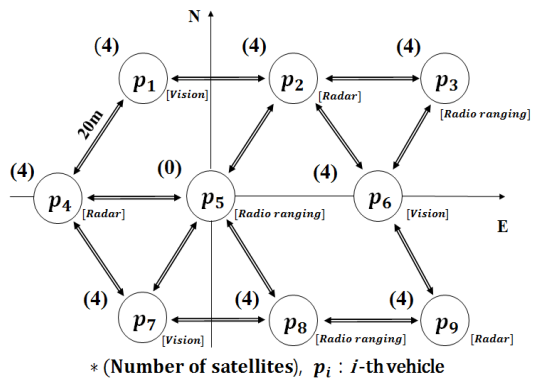


그림 11. 서로 다른 센서를 사용 시 협력 차량 네트워크의 대형 및 가시위성  
Fig. 11. Formation of the cooperative vehicular network and visible satellites at each vehicle node when various sensors are used.

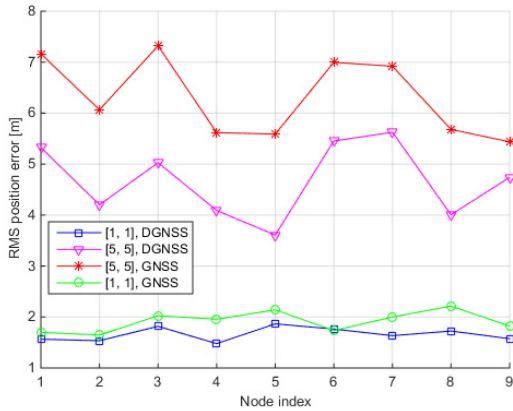


그림 12. 각 차량이 서로 다른 센서를 사용 시의 평균 제공된 위치 오차  
 Fig. 12. RMS position error using various sensors

정확한 결과를 내는 것을 확인 할 수 있다.

#### IV. 결 론

본 논문에서는 GNSS, 비전 센서, 레이더 센서를 이용한 협력 항법시스템을 제안하였다. 기존의 협력 항법시스템인 H-SPAWN 알고리즘을 바탕으로 하여 무선신호 거리측정 방식 대신 비전 센서와 레이더 센서를 모델링하여 알고리즘을 구성하였다. 모의 실험을 통해 각 센서별 3차원 위치오차를 확인하여 그 성능을 비교 분석하였다. 차량 동적 모델이 정확하여 예측 오차가 정확할 경우 무선, 비전, 레이더 센서를 사용했을 때의 측위 성능은 거의 비슷하였다. 반대의 경우, 비전 센서만을 이용한 측위결과가 기존의 무선 신호 바탕의 상대거리 측정 기술을 이용했을 때보다 조금 더 큰 오차가 발생하는 것을 확인하였고, 레이더 센서는 상대각도와 상대거리 정보를 모두 사용하기 때문에 위 두 결과보다 약 50% 더 정확한 결과를 내는 것을 확인하였다. 비전, 레이더 센서가 양산되는 상용 차량에 많이 사용되는 센서들인 점을 고려할 때, 본 논문은 미래기술로 생각되었던 기존의 협력 항법시스템을 상용수준의 차량에 적용할 수 있도록 접근법을 제시하였으며, 더 나아가 측위 정확도를 향상시킬 수 있는 것을 확인하였다. 그러나 본 논문은 개활지를 가정한 이상적인 상황을 대상으로 하고 모의실험만으로 알고리즘 성능을 검증하였으므로, 차기 연구에서는 도심에서의 다중경로환경 및 도로 장애물 환경과 같은 실제 상황에 대한 연구와 이를 뒷받침 할 수 있는 실

제 실험이 함께 이루어질 것이다.

#### References

- [1] P. Misra and P. Enge, *Global Positioning System: Signals, Measurements, and Performance*, 2nd Ed., Ganga-Jamuna Press, Lincoln, MA, 2001.
- [2] D. H. Titterton and J. L. Weston, *Strapdown Inertial Navigation Technology*, 2nd Ed., Inst. Eng. Technol., London, U.K., 2004.
- [3] S. Son, T. Kim, Y. Jeon, and Y. Baek, "Smart camera technology to support high speed video processing in vehicular network," *J. KICS*, vol. 40, no. 1, pp. 152-164, 2012.
- [4] Y. H. Shim and Y. H. Kim, "Data dissemination in LTE-D2D based vehicular network," *J. KICS*, vol. 40, no. 3, pp. 602-612, 2015.
- [5] S. Kim, "An evaluation of the performance wireless network in vehicle communication environment," *J. KICS*, vol. 36, no. 10, pp. 816-822, 2011.
- [6] H. Wymeersch, J. Lien, and M. Z. Win, "Cooperative localization in wireless networks," in *Proc. IEEE*, vol. 97, no. 2, pp. 427-450, Feb. 2009.
- [7] P. K. Enge, R. M. Kalafus, and M. F. Ruane, "Differential operation of the global positioning system," *IEEE Commun. Mag.*, vol. 26, pp. 48-60, Jul. 1988.
- [8] B. Barrois, et al., "3D pose estimation of vehicles using a stereo camera," *IEEE Intell. Veh. Symp. 2009*, pp. 267-272, China, Jun. 2009.
- [9] L. Danielsson, "Tracking and radar sensor modelling for automotive safety systems," Ph.D. Dissertation, Chalmers university of technology, 2010.
- [10] J. T. Park, "Waveform design and performance analysis of automotive radar for collision avoidance," M.S. Thesis, Korea Aerospace University, 2011.
- [11] F. R. Kschischang, B. J. Frey, and H. A. Loeliger, "Factor graphs and the sum-product



algorithm,” *IEEE Trans. Inf. Theory*, vol. 47, no. 2, pp. 498-519, Feb. 2001.

- [12] B. Ristic and S. Arulampalam, *Beyond the Kalman Filter: Particle Filters for Tracking Applications*, Artech House, 2004.
- [13] R. Schubert, C. Adam, M. Obst, N. Mattern, V. Leonhardt, and G. Wanielik, “Empirical evaluation of vehicular models for ego motion estimation,” in *Proc. IEEE Intell. Veh. Symp.*, pp. 534-539, Germany, Jun. 2011.

**고 현 우 (Hyunwoo Ko)**



2014년 8월 : 한동대학교 기계  
제어공학부 학사  
2014년 9월~현재 : KAIST 조  
천식 녹색교통대학원 석사과  
정  
<관심분야> 센서융합, 자율주  
행 및 자율항법 시스템

**공 승 현 (Seung-Hyun Kong)**



1992년 2월 : 서강대학교 전자  
공학과 학사  
1994년 6월 : Polytechnic Uni-  
versity(현 NYU) 전자공학과  
석사  
2005년 12월 : Stanford Uni-  
versity 항공우주공학과 박사  
1997년~2000년 : 삼성전자(주) 통신연구소  
2000년~2004년 : (주)맥스파일럿  
2006년 : Polaris Wireless Inc.  
2007년~2009년 : Qualcomm Inc., Corp.R&D  
2010년~현재 : KAIST 조천식 녹색교통대학원 교수  
<관심분야> GNSS 신호 처리, 차세대 GNSS기술,  
자율주행 및 자율항법 시스템