

## 선체 블록 물류관리를 위한 위치추적 시스템 연구

이영호<sup>†</sup>\*, 이규찬\*, 이길종\*, 손영득\*

현대중공업 선박해양연구소 제작계측실\*

### Study on the Positioning System for Logistics of Ship-block

Yeong-Ho Lee<sup>†</sup>\*, Kyu-Chan Lee\*, Kil-Jong Lee\* and Yung-Deug Son\*

Hyundai Heavy Industries Co.,Ltd  
Marine Research Institute Manufacturing & Measuring Dep't\*

#### Abstract

This paper describes the design and implementation of a low cost inertial navigation system(INS) using an inertial measurement unit(IMU), a digital compass, GPS, and an embedded system. The system has been developed for a transporter that load and unload ship blocks in a shipbuilding yard. When the transporter would move from place to place, they would periodically pass under obstructions that would obscure the GPS signal. This increases the error when estimating the position. Thus the INS has been used to improve position accuracy. INS is also capable of providing continuous estimates of the transporter's position and orientation. Even though IMU is typically very expensive, this INS is made of "low cost" components and the indirect Kalman filtering algorithm

※Keywords: GPS(범지구위치결정시스템), DGPS, INS(관성항법시스템), GIS(지리정보시스템), Kalman Filter(칼만필터), Ship-block(선박 블록)

#### 1. 서론

최근, 조선업계의 선박 수주량이 폭증하고 선박 생산에 필요한 선박 블록과 기자재 등의 물류도 비례하여 증가함으로써 공장, 창고, 야적장, 운반 장치 등의 한정된 시설 용량을 이미 초과하여 한계 상황에 직면하였다. 따라서 조선업계는

물류의 효율적인 관리가 중요한 이슈로 부각되었다. 특히 선박의 중간 조립단계 생산품인 육중한 선박블록은 도크에서 최종 탑재까지 야적장과 공간간을 10 회 이상 이동되면서 여러 가지 작업이 동시에 이루어 진다. 이러한 이유로 선박 건조에는 수 십 만평의 부지와 고가의 트랜스포터와 같은 운반장비가 필요하다. 물류의 핵심인 선박블록의 경우 트랜스포터에 의해 운반되므로 수 천 개의 블록을 직접 추적하기

<sup>†</sup>교신저자: lyh@hhi.co.kr, 052-202-5536

않고 트랜스포터 위치 및 상하차 정보로부터 블록의 이동상황을 파악하면 야적장 부지와 물류운반 등의 생산설비 투자를 줄이고 생산기간을 단축할 수 있다.

그러나 이를 위한 전제조건으로 위치추적 장치인 GPS 의 위치오차 감소와 전파음영지에서 GPS 신호 단절현상을 해결하여야 한다.

위치추적을 위한 요소기술로서 GPS(Global Positioning System), GIS(Geographic Information System) 및 무선 통신기술이 필요하다. 현재 개발된 위치추적 정도가 10m 인 위치추적 시스템이 있으나 선박건조분야에는 2~3m 급의 위치추적기술이 필요하고 공장, 건물 및 창고 등으로 인한 GPS 전파음영지 때문에 INS(Inertial Navigation System)의 추가적용이 불가피하다.

본 연구는 트랜스포터의 운행특성에 적합하고 저렴하게 구현할 수 있는 GPS/INS 위치추적장치 즉 GPS 와 관성항법 모듈을 간접 칼만 필터에 의해 융합하여 위치 정도가 향상되고 일시적으로 전파가 단절된 상황에서도 위치추적이 가능한 시스템 개발을 목적으로 하였다. 그리고 무선통신으로 전송된 위치정보 및 물류정보를 사내 전자지도와 시설물 DB 에 갱신 저장하여 물류추적을 수행하는 시스템에 대해서도 다루고자 한다.

## 2. GPS(Global Positioning System)

GPS 는 여러 기술분야에 적용되고 있으며, 응용분야에 있어서 위치오차 요구조건은 수행되어야 할 일의 복잡성에 따라 좌우된다. 매우 고정밀도가 요구되는 응용분야에서는 DPGS(Differential GPS), LAGPS(Local Area DGPS), WADGPS(Wide-Area DGPS) 그리고 WASS(Wide-Area Augmentation System) 등이 있다. 동시에 여러 대의 트랜스포터 이동에 대한 위치 추적을 위해서는 정확하고 저가형 GPS 기술이 요구된다. 따라서 각 트랜스포터에 장착된 INS 모듈과 결합한 IDGPS 시스템을 개발하여 완전한 위치추적시스템을 구현하고자 한다.

### 2.1 독립형 GPS

GPS 운항 메시지를 사용하여 GPS 수신 모듈은 RF 신호로 GPS 위성으로부터 수신기 안테나까지 운항시간을 계산한다. 그리고 시간에 빛의 속도를 곱하면 위성과 수신기 사이의 의사거리(pseudo range)가 계산된다. 그림 1 에서 에러(복합적인 에러)가 없을 때  $\rho_i$  의사거리는 다음과 같이 계산된다.

$$\begin{aligned} \rho_i &= |r_r - r_i| + c\delta t \\ &= \sqrt{(X_r - X_i)^2 + (Y_r - Y_i)^2 + (Z_r - Z_i)^2} + c\delta t \end{aligned} \quad (1)$$

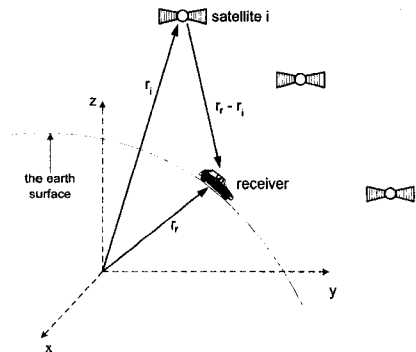


Fig. 1 Stand alone GPS

여기서  $r_r$  은 수신기의 ECEF 위치좌표( $X_r, Y_r, Z_r$ ),  $r_i$  는  $i$  번째의 위성 ECEF 위치좌표( $X_i, Y_i, Z_i$ )이며  $\delta t$  는 수신기의 시계편차,  $c$  는 빛의 속도이다. 위성의 위치는 궤도력 데이터로부터 계산할 수 있다. 식(1)에서 미지수 값은  $X_r, Y_r, Z_r$  와  $\delta t$  이다. 따라서 최소한 4 개의 위성으로부터 얻어진 4 개의 의사거리가 주어지면 수학적으로 수신기의 위치를 정확히 추적할 수 있다.

#### 2.1.1 최소자승 알고리즘

상태벡터  $x$

$$x = \begin{bmatrix} X_r & X_r & Y_r & Y_r & Z_r & Z_r & c\delta t_r & c\delta t_r \end{bmatrix}^T$$



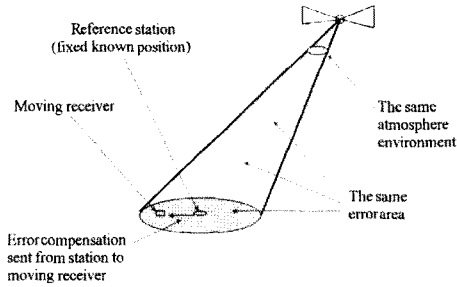


Fig. 2 Principle of DGPS

그림 2 에서 기지국에서 정확한 위치를 알고 있기 때문에 대기권에 의하여 발생하는 의사 거리 오차를 계산하여 이 정보를 운항하는 GPS 에 보낸다. 운항하는 GPS 는 이를 이용하여 의사거리를 보정하여 일반적인 단독 GPS 보다 높은 위치 정도를 갖는다. 따라서 DGPS 는 보다 높은 정밀도를 가지지만 기지국을 따로 두어야 하고 또한 GPS 모듈이 송수신 해야 하기 때문에 이의 고려도 또한 필요하다.

### 3. Inertial Navigation System(INS)

INS 의 위치계산에는 운반체의 이동거리 정보가 필요하며 이것은 운반체의 관성센서의 정확한 자세 추정을 바탕으로 하고 있다. 이를 위해 자이로센서, 가속도센서, 마그네틱 컴퍼스 등의 센서가 이용되며 3 차원 자세추정에 있어서 스트랩다운 방식의 구조와 간접 칼만 필터 알고리즘을 이용하였다.



Fig. 3 자체 제작 INS

INS 센서는 3 차원 상의 6 자유도를 측정하기 위해 자이로센서 3 개, 2 축 가속도 센서 2 개, Z 축

회전각 측정을 위해 마그네틱 컴퍼스 1 개를 결합하였다.

#### 3.1 관성센서의 초기 정렬

자세추정 계산은 각 축에 대한 정확한 직교 배치와 3 축의 무게 중심점이 일치함으로부터 이루어지나 제작상 정확한 정렬 배치에 어려움이 있으므로 센서 개개의 오차모형을 설정하고 환산계수, 바이어스 오차, 비정렬 오차를 추정하여 적용한다. 식(12)와 식(13)은 자이로 센서 및 가속도 센서의 오차모형을 보여주고 있다.

$$\begin{bmatrix} K_x & 0 & 0 \\ 0 & K_y & 0 \\ 0 & 0 & K_z \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_x \\ V_y \\ V_z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} b_x \\ b_y \\ b_z \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} d_{xx} & d_{xy} & d_{xz} \\ d_{yx} & d_{yy} & d_{yz} \\ d_{zx} & d_{zy} & d_{zz} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \omega_x \\ \omega_y \\ \omega_z \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} m_{xx} & m_{xy} & m_{xz} \\ m_{yx} & m_{yy} & m_{yz} \\ m_{zx} & m_{zy} & m_{zz} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a_x \\ a_y \\ a_z \end{bmatrix} \quad (12)$$

$$\begin{bmatrix} K_x & 0 & 0 \\ 0 & K_y & 0 \\ 0 & 0 & K_z \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_x \\ V_y \\ V_z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} b_x \\ b_y \\ b_z \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} d_{xx} & d_{xy} & d_{xz} \\ d_{yx} & d_{yy} & d_{yz} \\ d_{zx} & d_{zy} & d_{zz} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a_x \\ a_y \\ a_z \end{bmatrix} \quad (13)$$

여기서  $k_i$ 는  $i$ 축의 환산계수,  $v_i$ 는  $i$ 축의 자이로 센서 및 가속도 센서 출력,  $w_i$  와  $a_i$  는 입력각속도와 가속도,  $d_{ij}$  와  $m_{ij}$  는 비정렬 오차와 g-sensitivity 오차,  $b_i$ 는 바이어스 오차

#### 3.2 자세 계산 알고리즘

본 연구에서 제안하는 INS 는 스트랩다운방식의 시스템과 자세 계산을 위한 좌표변환 알고리즘을 방향 코사인 행렬을 이용한 오일러각 방식을 적용하였다. 관성측정장치의 공간상 기준 축  $X_w, Y_w, Z_w$ 을 중심으로  $x$ 축 회전(roll)각을  $\phi$ ,  $y$ 축 회전(pitch)각을  $\theta$ ,  $z$ 축 회전(yaw)각을  $\psi$ , 이때 각축의 각속도를  $\omega_x, \omega_y, \omega_z$  로 정의 하였다. 3 차원 상의 자세를 추정하기 위하여 7 개의 측정 데이터를 사용한다.

- $a_x, a_y, a_z$  :  $x, y, z$ 축의 가속도
- $m_z$  : 마그네틱 컴퍼스 출력
- $g_x, g_y, g_z$  :  $x, y, z$ 축의 자이로센서 출력

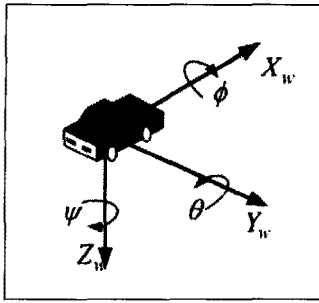


Fig. 4 트랜스포터의 기준좌표계 정의

3.3 기준 좌표계 변환

$$R_b^n = \begin{bmatrix} c\theta c\psi & s\theta c\psi & -c\psi & s\theta s\psi + c\psi c\theta \\ c\theta s\psi & s\theta s\psi + c\psi c\theta & c\psi & c\theta c\psi - s\psi c\theta \\ -s\theta & s\theta c\theta & 0 & c\theta s\theta \end{bmatrix} \quad (14)$$

- $s$  :  $\sin$
- $c$  :  $\cos$

좌표변환변환은 식(14), 식(15), 식(16)과 같이 일반적으로 항공분야에서 주로 사용하는 방법을 적용하였다. 식 (14)는 관성센서로부터 롤( $\phi$ ), 피치( $\theta$ ), 요( $\psi$ ) 각 및 오일러 정의를 이용하여 센서가 부착된 동체좌표계와 이동체 항법좌표계 사이의 좌표변환 행렬이며, 식(15), 지구중심 직교 좌표계와 항법좌표계의 변환식이다. 식(14)는 pitch가  $\pm 90^\circ$ 일 때 roll과 yaw가 같이 영향을 받기 때문에 특이치가 존재하나 본 연구의 목적인 차량 운반장치는 자세각이  $90^\circ$  이내 이므로 충분히 적용이 가능하다.

$$R_n^\ell = \begin{bmatrix} -\sin\ell \cos\lambda & -\sin\ell \sin\lambda & \cos\ell \\ -\sin\ell & \cos\ell & 0 \\ -\cos\ell \cos\lambda & -\cos\ell \sin\lambda & -\sin\ell \end{bmatrix} \quad (15)$$

여기서  $\ell$ 은 위도이고,  $\lambda$ 는 경도이다. 위의 두 개의 변환식을 이용하여  $R_b^e$ 를 정의할 수 있다.

$$R_b^e = R_n^e R_b^n \quad (16)$$

3.4 관성항법 방정식

관성항법 시스템에서 동체 부착된 가속도센서는 모션변화에 따라 가속도 값을 센싱하게 되며.

ECEF 좌표계에서 항법 방정식은 아래와 같이 표현된다.

$$\begin{bmatrix} \dot{V}^e \\ \dot{P}^e \\ \dot{\Phi} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -2\Omega_{ie}^e & -\Omega_{ie}^e \Omega_{ie}^e & 0 \\ I & 0 & 0 \\ 0 & 0 & Q \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V \\ P \\ \Phi \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} R_b^e & R_b^e & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} g_{SHC}^c \\ a \\ \omega \end{bmatrix} \quad (17)$$

$$\epsilon_{ie} = \begin{bmatrix} 0 & -\omega_{ie} & 0 \\ \omega_{ie} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad (18)$$

여기서,  $\omega_{ie}$ 는 지구의 각속도,  $R$ 은 좌표계 사이의 변환 행렬,  $P$ 는 위치,  $V$ 는 ECEF 좌표시스템의 속도 벡터이다. 또한, 오일러 자세각 롤, 피치 및 요 각은 식 (19)와 같이 쿼터니언 방정식으로 변환 할 수 있다.

$$Q = \frac{1}{2} \begin{bmatrix} 0 & \omega_z & -\omega_y & \omega_x \\ -\omega_z & 0 & \omega_x & \omega_y \\ \omega_y & -\omega_x & 0 & \omega_z \\ -\omega_x & -\omega_y & -\omega_z & 0 \end{bmatrix} \quad (19)$$

각축의 가속도로부터 기본 좌표의 가속도로 변환행렬은 다음과 같다.

$$\begin{bmatrix} \dot{\phi} \\ \dot{\theta} \\ \dot{\psi} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & \sin\phi \tan\theta & \cos\phi \tan\theta \\ 0 & \cos\phi & -\sin\phi \\ 0 & \sin\phi \sec\theta & \cos\phi \sec\theta \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \omega_x \\ \omega_y \\ \omega_z \end{bmatrix} \quad (20)$$

3.5 칼만 필터

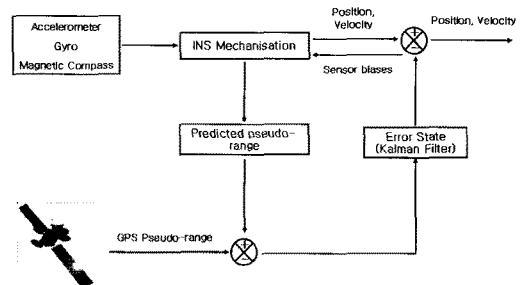


Fig. 5 간접 강결합 칼만필터

3.5.1 칼만 필터 예측

스트랩다운 관성항법장치의 항법성능을 향상시키고 계산 부담을 줄이기 위해서 영속도 보정항법 알고리즘을 적용하였다. 그림 5의 간절되먹임 구조의 칼만 필터는 매 업데이트 주기 후에 오차를 피드백 하는 것을 보여준다. 칼만 필터 모델은 동체좌표계와 항법좌표계 사이에 쿼터니언을 이용한 스트랩다운 관성항법장치 오차방정식을 적용하였다

초기화된 공분산 행렬과  $P(k_0/k_0)$ , 이산화에 의해 식(21)과 같이 칼만 필터가 구성되었다.

$$P(k+1|k) = FP(k|k)F^T + Q \quad (21)$$

3.5.2 칼만 필터 관측식

선형 칼만 필터 관측식은 식(22)와 같이 구성된다.

$$z = Hx + v \quad (22)$$

이 과정에서 관측 가능한 값은 의사거리 실제 측정치와 관성항법 예측치의 비선형 오차가 된다.

$$\delta\rho = \rho_{gps} - p_{pred, ins} \quad (23)$$

여기서,  $\rho_{gps}$  위성 클럭의 바이어스와 전리층 감쇠를 포함한 보정된 표준 C/A 코드에 의한 의사거리이고,  $\rho_{pred, ins}$ 는 INS 위치해와 클럭 바이어스 추정을 통해 얻어진다. 선형  $H$  행렬은 의사거리 오차를 상태벡터의 상응하는 요소에 결합시켜야 한다. 이 과정에서 선형  $H$  행렬은 위치와 클럭 바이어스로 구성되고 테일러 전개 1 차식이 사용된다.

$$\delta\rho = \frac{\partial h}{\partial x} \delta x = H\delta x \quad (24)$$

$$H = \begin{bmatrix} \frac{\partial \rho_1}{\partial x} & \frac{\partial \rho_1}{\partial y} & \frac{\partial \rho_1}{\partial z} & \frac{\partial \rho_1}{\partial cb} \\ \frac{\partial \rho_2}{\partial x} & \frac{\partial \rho_2}{\partial y} & \frac{\partial \rho_2}{\partial z} & \frac{\partial \rho_2}{\partial cb} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ \frac{\partial \rho_n}{\partial x} & \frac{\partial \rho_n}{\partial y} & \frac{\partial \rho_n}{\partial z} & \frac{\partial \rho_n}{\partial cb} \end{bmatrix} \quad (25)$$

임의의 가시위성에 대한  $H$  행렬은 식(25)와 같이 구성된다. 그리고  $H$ 에서 zero 조건이 존재하는 항을 생략하고 식을 단순화 시킨다면,  $H$  구성요소는 최종적으로 다음과 같이 표현된다.

$$\frac{\partial \rho_j}{\partial x} = \frac{-(X_j - x)}{\sqrt{(X_j - x)^2 + (Y_j - y)^2 + (Z_j - z)^2}} \quad (26)$$

$$\frac{\partial \rho_j}{\partial z} = \frac{-(Z_j - z)}{\sqrt{(X_j - x)^2 + (Y_j - y)^2 + (Z_j - z)^2}} \quad (27)$$

$$\frac{\partial \rho_j}{\partial cb} = 1 \quad (28)$$

4. 실험



Fig. 6 트럭을 이용한 실험

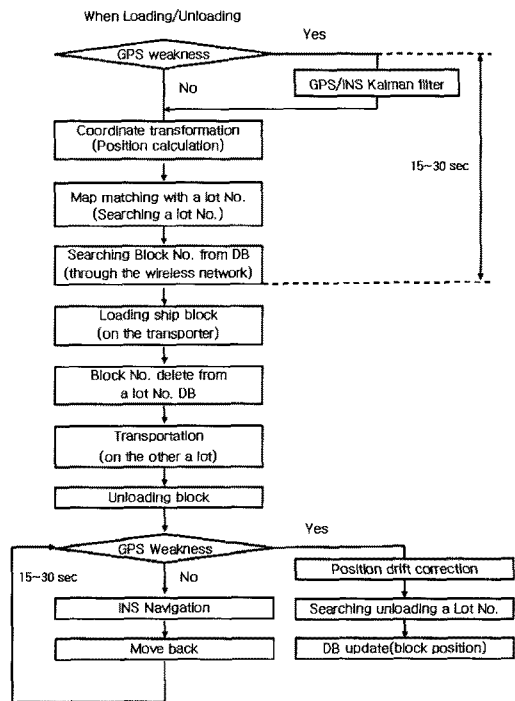


Fig. 7 블록관리 절차

개발된 GPS/INS 시스템을 물류운반 차량에 장착하여 위치정보를 측정하고 관제센터로 보내 휴대용 무선통신망(무료 zone 서비스)을 이용하여 관제센터로 보낸다. 통신매체는 무선 모뎀, 무선 랜, TRS, 휴대폰 SMS 등 다양하게 이용이 가능하나 추가 통신비용이 발생하지 않는 휴대폰 Zone 서비스만을 이용하였다.

관제서버의 관제용 프로그램은 여러 이동체로부터 수신된 이동체의 인식번호별 위치 좌표값을 전자지도 위에 차량아이콘 심볼로 이동상황을 실시간으로 표시하고 매초마다 갱신한다. 프로그램은 볼랜드사의 델파이로 개발하였고 이용된 전자지도는 73 개의 야드 레이어로 구성되어 있다.

전자지도는 사내부분은 10 센티미터, 사외부분은 5 미터의 위치오차를 가진다.

관제시스템에서 야적장 지번 내에 트랜스포터의 블록이동 상황을 정확하게 자동인식하기 위해 그림 7 과 같은 후처리 위치보정 알고리즘 및 상하차 지번 자동인식 알고리즘을 개발하였다.

## 5. 결 론

본 논문에서는 고정밀 저가형 GPS/INS 구현을 위해 IDPGS 오차보정기술과 GPS 전파단절 지역에서의 이동거리 추정을 위한 간접 칼만 필터 기법에 의한 관성항법 기술을 융합하여 3 차원 자세 추정용 INS 를 경제적으로 구현하였다.

또한, 후처리 위치보정 및 상하차 지번 자동인식 알고리즘, 전자지도에 이동체의 위치 표시, 무선통신을 통해 각종 작업 및 업무지시가 가능한 메뉴를 포함한 관제시스템을 개발하였다.

관제시스템의 이동체 위치표시 기능에는 트랜스포터와 선박블록의 효과적인 이동배치 업무를 위한 경로검색, 지번검색, 블록 위치검색 등의 기능이 제공된다.

## 6. 향후 작업

효과적인 배치관리의 요구조건을 만족하기 위해 개발된 기술과 알고리즘이 선박블록 생산과 연동여부를 조사하는 것이다.

또한 시스템이 GPS 신호없이 관성항법시 위치정도를 향상시키는 것이다. 이를 위해서는 지리정보시스템의 맵매칭기법과 무선통신기술이 필요하다.

## 참 고 문 헌

- Mohinder,S.G., Lawrence,R.W., and Angus ,P.A., 2001, " Global positioning systems, inertial navigation and integration," John Wiley & Sons Press,.
- Kao, W., 1991 ," Integration of GPS and dead reckoning navigation systems," in Proc. VNIS
- Salychev ,O., 1998, " Inertial Systems in Navigation and Geophysics," Bauman MSTU Press
- Bin, Y., and Tianhe .C., 2000 ," A Web GIS Spatial Data Index Structure Based on R-Tree," in Proc. 9th SDH/IGU Beijing, 7B. 11- 18.
- Akiva, M. B.,1997, " A dynamic traffic model system for ATMS/ATIS operation," IVHS *Journal*. Vol 1(4), pp. 1- 19.
- Hofmann-Wellenfof,B.,1997," Global Positioning System theory and practice, Springer Wien NewYork.
- Chatfield ,A. B., 1997, " Fundamentals of High Accuracy Inertial Navigation" , Vol. 174, Progress in Astronautics and Aeronautics.
- Lee, Kyu-Chan et al, 2003, " Transporter Management System for Shipbuilding yard" , in Proc. 6<sup>th</sup> IEEE Int. Conf. Intelligent Transportation Systems, Shanghai, pp.1704-1709.



< 이 영 호 >



< 이 규 찬 >



< 이 길 중 >



< 손 영 득 >