

## 페트리망에 기초한 무인운반조종기설계의 한가지 방법

지 철

경애하는 최고령도자 김정은동지께서는 다음과 같이 말씀하시였다.

《인민경제의 현대화, 정보화실현의 전략적목표는 모든 생산공정을 자동화, 지능화하고 공장, 기업소들을 무인화하는것입니다.》

공장, 기업소들을 무인화하는데서 중요한 문제의 하나는 무인운반체계를 실현하는것이며 특히 무인운반체계를 구조화하여 무인운반조종알고리즘을 설계하는것이 무인운반차와 함께 중요한 문제의 하나이다.

세계적으로 무인운반체계에 대한 연구가 활발히 진행되여 제품화하는 단계에 들어가고있으며 특히 무인운반체계를 페트리망이론에 기초하여 모형화하고 조종알고리즘을 설계하는것이 기본방법으로 되고있다.[1]

여러대의 무인운반차들이 가동할 때 차들사이에 막힘, 충돌, 병목현상과 같은 문제들이 발생하며 이러한 문제들[2]이 발생하지 않도록 조종하는 알고리즘을 설계하고 그것을 PLC프로그램으로 변환하는것이 중요하다.

선행연구[3]에서는 색시간페트리망에 의하여 무인운반체계를 모형화하고 막힘회피전략과 색자원지향페트리망을 통해 무인운반체계에 대한 막힘회피방안을 제안하였다.

선행연구[4]에서는 시간페트리망에 기초한 경로조종문제를 제안하였으며 선행연구[5]에서는 확장표제페트리망을 도입하고 그것들을 PLC프로그램으로 전환하는 방법을 제안하였다.

그러나 제안된 방법들은 모두 무인운반체계를 확장페트리망으로 모형화하고있으며 따라서 PLC에 의하여 자동적으로 실현하는것이 어렵다.

본문에서는 충돌을 방지하기 위하여 무인운반체계를 정규페트리망으로 모형화하고 조종목적을 형식화하여 닫힌고리체계의 페트리망모형을 설계하고 그것을 PLC의 사다리도프로그램으로 변환하는 한가지 방법을 제안하였다.

### 1. 무인운반체계의 모형화

#### 1) 무인운반체계

그림 1에 제안한 무인운반체계를 보여주었는데 그림에서 점선들은 무인운반차들의 주행방향을 표시하며 차들은 투입과 차단에 의하여 이동과 정지를 할수 있다. 매개 경로는 여러개의 구역들로 나누어지며 여기서 차들은 정지할수 있다.

차들이 충돌하는것을 막기 위하여 임의의 시간에 2개의 이웃한 구역들사이의 매개 경로에는 기껏해서 하나의 차가 있어야 한다. 이러한 조종목적을 달성하기 위하여 세가지 종류의 조종요소들이 리용된다.

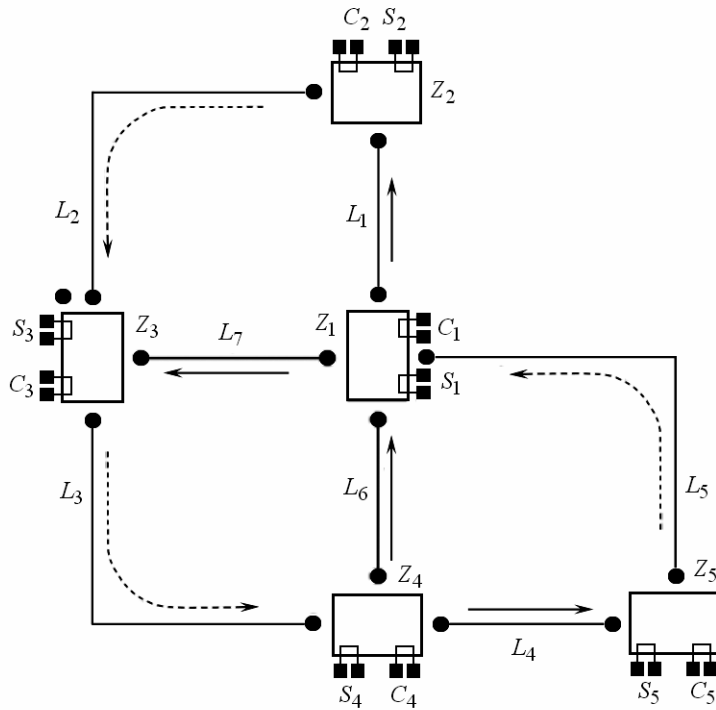


그림 1. 무인운반체계

첫번째 조종요소는 수감부로서  $S_i (i=1, 2, \dots)$ 로 표시한다. 매개 구역에 하나의 수감부가 있으며 차가 어떤 구역에 들어가면 이 구역에 있는 수감부가 그것을 검출하고 투입으로 절환한다. 반대로 만일 차가 이 구역을 떠나면 차단으로 절환한다. 수감부들은 구역들에서 차들의 분포를 보여주기 위하여 조종기에 상태를 통보한다.

두번째 조종요소는 주행고리이며  $L_j, j \in Z$ 에 의하여 표시된다. 구체적으로 투입(차단)으로 절환되는 주행고리는 무인운반차가 전진하거나 정지한다는것을 의미한다.

세번째 조종요소는 울림-내림계수기이며  $C_k, k \in Z$ 에 의하여 표시된다. 매개 구역에는 하나의 울림-내림계수기가 있으며 2개의 이웃한 구역들사이의 주행고리에 존재하는 차들의 수를 계수한다.

그림 1의 무인운반체계는  $Z_1 \sim Z_5$ 에 의하여 표시되는 5개의 구역들로 나누어지며 주행고리는  $L_1 \sim L_7$ 이며 울림-내림계수기들은  $C_1 \sim C_5$ 이고 수감부들은  $S_1 \sim S_5$ 이다.

## 2) 조종하드웨어페트리망

무인운반체계를 정규페트리망으로 모형화한것을 조종하드웨어페트리망이라고 부른다.

정의 1  $x$ 를 무인운반체계에서 수감부라고 할 때  $N_x = (P_x, T_x, E_x)$ 를 조종요소페트리망모듈이라고 부른다. 여기서 위치모임은  $P_x = \{w_x, i_x\}$ 이며  $w_x$ 와  $i_x$ 는 각각  $x$ 의 투입과 차단상태들에 대응한다. 즉  $w_x(i_x)$ 가 표시되면  $x$ 는 투입(차단)이고  $i_x(w_x)$ 는 표시되지 않는다.

한편  $T_x$  는 이행모임으로서

$$T_x = (o_x, c_x)$$

로 표시되며  $o_x$  와  $c_x$  는 각각 차단으로부터 투입으로의 절환과 투입으로부터 차단으로의 절환에 대응한다. 그리고  $E_x$  는 호모임으로서

$$E_x = \{(i_x, o_x), (o_x, w_x), (w_x, c_x), (c_x, i_x)\}$$

로 표시된다.

정의로부터 초기의 조종요소페트리망모듈은 대응하는 조종요소의 동작을 정확히 묘사한다.

안내경로의 두 끝에 각각 설치된 2개의 수감부들의 오름면신호들을 리용하여 올림-내림계수기의 현재값은 이 경로에 얼마나 많은 차들이 있는가를 표시한다. 올림-내림계수기들에 대하여 페트리망모형을 다음과 같이 정의한다.

정의 2  $y$  가 올림-내림계수기라고 할 때

$$N_y = ((P_y, T_y, E_y), m_0^y)$$

을 조종요소페트리망모듈이라고 부른다. 여기서  $P_y$  는 위치모임으로서

$$P_y = (P_y^1, P_y^2, w_y, i_y, v_y^0, v_y^1)$$

으로 표시하는데  $P_y^1$  에 있는 통표는 CU말단을 통해 수신된 오름면신호를 표시하며  $P_y^2$  에 있는 통표는 CD말단을 통해 수신된 오름면신호를 표시한다. 그리고 상태  $v_y^0(v_y^1)$  은 현재 값 CV가 0(1)이라는것을 표시하며 상태  $w_y(i_y)$  는 말단 QU가 1(0)을 출력한다는것을 표시한다.

한편  $T_y$  는 이행모임으로서

$$T_y = \{a_y, s_y, o_y, c_y\}$$

로 표시하며 여기서  $a_y(s_y)$  는 CV의 값이 0(1)로부터 1(0)으로 절환된다는것을 표시한다.

그리고  $E_y$  는 호모임으로서

$$\begin{aligned} E_y = \{ & (v_y^0, a_y), (a_y, v_y^1), (v_y^1, s_y), (s_y, v_y^0), \\ & (p_y^1, a_y), (p_y^2, s_y), (c_y, v_y^0), (i_y, o_y), \\ & (o_y, w_y), (w_y, c_y), (c_y, i_y), \\ & (v_y^0, c_y), (v_y^1, c_y) \} \end{aligned}$$

로 표시하며 여기서  $i_y$  와  $v_y^0$  은 초기에 하나의 통표를 가진다. 한편 다른 위치들은 초기상태  $m_y^0$  으로 표시되지 않는다.

그림 1의 계수기  $C_1$  에 대한 조종요소페트리망모듈을 그림 2에 보여주었다.

그림에서 보는바와 같이  $p_{C_1}^1$  과  $p_{C_1}^2$  를 통해 수감부들로부터 오름면신호들을 표시하는 통표가

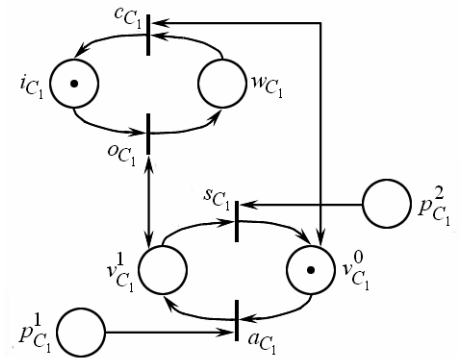


그림 2. 계수기  $C_1$  에 대한 조종요소 페트리망모듈

수신되어  $C_1$ 의 동작이 정확히 모형화된다.

계수기의 조종요소페트리망모듈을 블록으로 묶으면 다음과 같이 정의할수 있다.

정의 3  $N_y = ((P_y, T_y, E_y), m_0^y)$  가 올림-내림계수기  $y$ 의 조종요소페트리망모듈이라고 하면 이것은 포구 1은 위치  $p_y^1$ 에, 포구 2는  $p_y^2$ 에 연결되어있는 2개의 입구포구들이 있고 포구 3은 위치  $w_y$ 에, 포구 4는  $i_y$ 에 연결되어있는 2개의 쌍방향포구들이 있는 4개의 말단들을 가진 PN블록에 의하여 표시된다.

정의 3에 따라 계수기  $C_1$ 의 조종요소페트리망모듈을 하나의 블록으로 묶은것을 그림 3에 보여주었다.

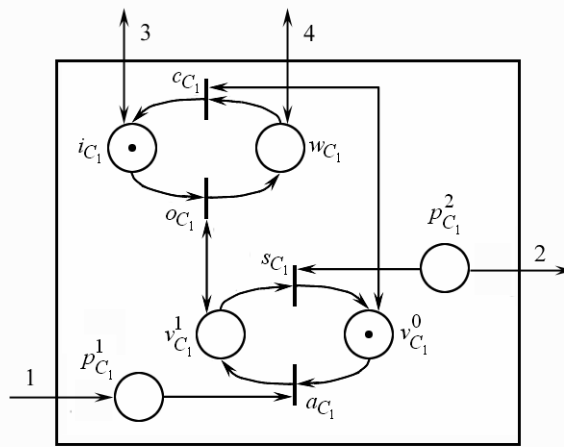


그림 3. 계수기  $C_1$ 의 조종요소페트리망모듈이 하나로 묶음화된 블록

정의 4  $z$ 가 무인운반체계에서 주행고리라고 하면  $N_z = (P_z, T_z, E_z)$ 는 조종요소페트리망모듈이다. 여기서  $P_z = \{w_z, i_z\}$ 는 위치모임으로서  $w_z$ 와  $i_z$ 는 각각  $z$ 의 투입과 차단 상태들에 대응한다. 즉  $w_z(i_z)$ 가 표시되면  $z$ 는 투입(차단)이며  $i_z(w_z)$ 는 표시되지 않는다. 그리고 이행모임은  $T_x = \emptyset$ 이고 호모임  $E_x = \emptyset$ 이다.

주행고리의 조종요소페트리망모듈은 투입과 차단상태에 대응하는 위치들의 쌍이다. 이 페트리망모듈은 이행을 포함하지 않지만 닫긴고리망을 리용하여 2개의 위치들이 이행으로 연결되도록 설계된다.

정의 1, 2, 4로부터 조종요소들의 모임을 모형화한 무인운반체계의 조종하드웨어페트리망알고리즘은 다음과 같다.

알고리즘 1 무인운반체계의 조종하드웨어페트리망

입력:  $I \in Z$ 인 수감부,  $J \in Z$ 인 주행고리,  $K \in Z$ 인 올림-내림계수기들을 가진 무인운반체계

출력: 조종하드웨어페트리망  $N_p = ((P_p, T_p, E_p), m_0)$

①  $P_p = \emptyset, T_p = \emptyset, E_p = \emptyset$

② for  $1 \leq i \leq I$  do

- ③  $P_p = P_p \cup P_{s_i}$ ;
- ④  $T_p = T_p \cup T_{s_i}$ ;
- ⑤  $E_p = E_p \cup E_{s_i}$ ;
- ⑥  $m_0(w_{s_i}) = 0$ ,  $m_0(w_{s_i}) = 1$ ;
- ⑦ end for
- ⑧ for  $1 \leq j \leq J$  do
- ⑨  $P_p = P_p \cup P_{L_i}$ ;
- ⑩  $m_0(w_{L_i}) = 0$ ,  $m_0(i_{L_i}) = 1$ ;
- ⑪ end for
- ⑫ for  $1 \leq k \leq K$  do
- ⑬  $P_p = P_p \cup P_{C_i}$ ;
- ⑭  $T_p = T_p \cup T_{C_i}$ ;
- ⑮  $E_p = E_p \cup E_{C_i}$ ;
- ⑯  $m_0(v_{c_k}^0) = 1$ ,  $m_0(v_{c_k}^1) = 0$ ,  
 $m_0(i_{c_k}^1) = 1$ ,  $m_0(w_{c_k}) = 0$ ,  
 $m_0(p_{c_k}^1) = 0$ ,  $m_0(p_{c_k}^2) = 0$ ;
- ⑰ end for

알고리즘 1은 모든 수감부들, 올림-내림계수기들, 주행고리들의 조종요소 페트리망모듈들을 종합한것이며 초기상태를 정확히 설정한다.

알고리즘 1에서 ②-⑦은 수감부들에 대한 위치, 이행, 호모임들을 얻으며 위치들에 표식을 붙인다. 그리고 ⑧-⑪은 주행고리의 모임들을  $N_p$ 에 추가하며 그것의 위치들에 표식을 붙인다. ⑫-⑰은 올림-내림계수기의 위치, 이행, 호모임들을  $N_p$ 에 추가한다.

그림 1에서 보여준 무인운반체계에 대하여 알고리즘 1을 통해 얻은 조종하드웨어페트리망을 그림 4에 보여 주었다.

페트리망모형에는 수감부들에 5개의 조종요소페트리망모듈들, 주행고리에 7개의 조종요소페트리망모듈들, 계

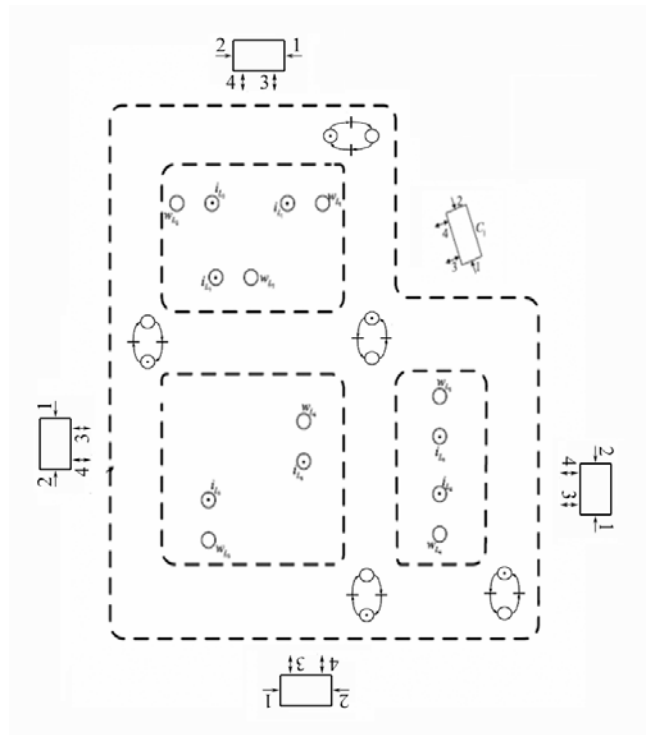


그림 4. 그림 1에서 보여준 무인운반체계의 조종하드웨어페트리망

수기들에 5개의 페트리망모듈들이 있다.

### 3) 무인운반체계의 닫긴고리페트리망

조종하드웨어페트리망은 매개 주행고리의 투입과 차단상태들사이의 절환을 표시할수 없지만 매개 수감부와 올림-내림계수기들의 투입과 차단상태사이의 절환은 표시할수 있다.

주행고리의 투입과 차단상태들은 모든 수감부들, 올림-내림계수기들, 주행고리의 현재상태에 따라 PLC에 의하여 설정되어야 한다. 다시말하여 주행고리의 투입과 차단상태들은 PLC에서 프로그램에 의하여 계산되어야 한다.

한편 무인운반차들의 충돌을 막기 위해서는 조종하드웨어페트리망을 확대하여 닫긴고리페트리망을 설계하여야 한다. 이를 위하여 조종하드웨어페트리망을 확대하는 선배당방식을 정의하는데 이것을 리용하여 조종하드웨어페트리망에서 이행과 호들을 설계한다.

구역  $Z_x$ 가 경로에서 구역  $Z_y$ 의 앞에 있으며 이웃일 때  $Z_x$ 는  $Z_y$ 의 전자구역이고  $Z_y$ 는  $Z_x$ 의 성공적인 구역이라고 하자.

정의 5 ( $Z_x, Z_y, Z_z$ ),  $x, y, z \in Z$ 로 표시되는 3개의 구역  $Z_x, Z_y, Z_z$ 들은  $Z_x$ 가  $Z_y$ 의 유일한 전자구역이고  $Z_z$ 가  $Z_y$ 의 유일한 성공적인 구역이면 선배당이다.

정의 6  $LA=(Z_x, Z_y, Z_z)$ 가 선배당이라고 하자.

그러면  $LA$ 의 첫번째와 두번째 계수기들은  $Z_x$ 와  $Z_y$ 에서 올림-내림계수기들이며 각각  $cl_1(LA)$ 와  $cl_2(LA)$ 로 표시한다. 그리고  $Z_x$ 와  $Z_y$ 사이의 주행고리를  $ll(LA)$ 로 표시한다.

그림 1에서는 선배당이  $LA_1$ 에 의하여 표시된다. 이때 계수기들은

$$cl_1(LA_1)=C_1, cl_2(LA_2)=C_2$$

로 표시되고 그것의 고리는  $ll(LA_1)=L_1$ 이다.

정의 7  $LA=(Z_x, Z_y, Z_z)$ 에서  $cl_1(LA)$ 와  $cl_2(LA)$ 는 계수기들이고  $ll(LA)$ 가  $LA$ 의 고리일 때 충돌방지를 위한 조종목적은 다음과 같다.

$$m_0(w_{ll(LA)})=[\delta(o_{s_x})-\delta(o_{s_y})]\times[\delta(o_{s_x})-\delta(o_{s_z})] \quad (1)$$

여기서  $w_{ll(LA)}$ 는 조종요소페트리망모듈에서 정의된 위치이다. 그리고 주행고리  $ll(LA)$ 는 차단과 투입이라는것을 표시하는데 각각 0과 1의 값을 가진다. 또한  $o_{s_x}, o_{s_y}, o_{s_z}$ 는 수감부  $s_x, s_y, s_z$ 의 조종요소페트리망모듈에서의 이행들이며  $\delta(t)$ 는 초기상태로부터 이행  $t$ 가 촉발된 회수를 표시한다.

보조정리 무인운반체계의  $LA=(Z_x, Z_y, Z_z)$ 가 주어지고 만일 조종목적 (1)이 만족되도록 조종구조가 조종하드웨어페트리망에서 설계되면 구역  $Z_x$ 와  $Z_y$ 사이의 안내경로에서 차들사이의 충돌은 없다.

증명 매개 차는 초기상태에서 어떤 구역에 있으며 매개 구역은 기껏해서 초기상태에서 하나의 차를 가진다.

만일 무인운반체계가 식 (1)에 따르면  $[\delta(o_{s_x})-\delta(o_{s_y})]=1$ 이고  $[\delta(o_{s_x})-\delta(o_{s_z})]=1$ 일 때에만 투입으로 절환될수 있다. 이것은  $[\delta(o_{s_x})-\delta(o_{s_y})]\times[\delta(o_{s_x})-\delta(o_{s_z})]=1$ 일 때에만 위치

$w_{ll(LA)}$ 가 표시되며 이것은 주행고리  $ll(LA)$ 가 투입이라는것을 의미한다. 그러므로  $Z_x$ 와  $Z_y$ 사이의 안내경로에는 하나의 차만이 있다.

보조정리에 따라 매개 선배당에서 차충돌을 피할수 있도록 조종구조를 설계하는 알고리즘은 다음과 같다.

#### 알고리즘 2 선배당을 위한 조종구조설계

입력:  $I \in Z$ 개의 선배당  $LA_1 - LA_2$ 와 매개 선배당의 계수기들과 고리들, 조종하드웨어 페트리망  $N_p = ((P_p, T_p, E_p), m_0)$

출력: 선배당을 진행한 닫긴고리페트리망  $N_c^1 = ((P_c^1, T_c^1, E_c^1), m_0)$

①  $P_{c_1}^1 = P_p, T_{c_1}^1 = T_p, E_c^1 = E_p;$

② for  $1 \leq i \leq I$  do

③  $T_c^1 = T_c^1 \cup \{o_{ll(LA_i)}, c_{ll(LA_i)}\};$

④  $E_c^1 = E_c^1 \cup \{(i_{ll(LA_i)}, o_{ll(LA_i)}),$

$(o_{ll(LA_i)}, w_{ll(LA_i)}),$

$(w_{ll(LA_i)}, c_{ll(LA_i)}),$

$(c_{ll(LA_i)}, i_{ll(LA_i)}),$

$(w_{cl(LA_i)}, o_{ll(LA_i)}),$

$(i_{cl2(LA_i)}, o_{ll(LA_i)}),$

$(w_{cl2(LA_i)}, c_{ll(LA_i)})\}$

⑤  $E_c^1 = E_c^1 \cup \{(o_{s_x}, P_{cl1(LA_i)}^1),$

$(o_{s_y}, P_{cl1(LA_i)}^2),$

$(o_{ll(LA_i)}, w_{cl1(LA_i)}),$

$(o_{s_y}, P_{cl1(LA_i)}^2)$

$(o_{s_z}, P_{cl2(LA_i)}^2),$

$(o_{ll(LA_i)}, i_{cl2(LA_i)}),$

$(c_{ll(LA_i)}, w_{cl2(LA_i)})\};$

⑥ end for

알고리즘 2에서 ③, ④는 각각  $N_p$ 에 선배당의 고리에 필요한 이행과 호모임들을 추가하며 ⑤는  $N_p$ 에 계수기들에 대한 호모임을 추가한다.

그림 1의 무인운반체계를 알고리즘 2를 리용하여 2개의 선배당들  $LA_1 = (Z_1, Z_2, Z_3)$ 과  $LA_2 = (Z_4, Z_5, Z_1)$ 에 대한 닫긴고리페트리망을 구성하였다.(그림 5)

그림 5에서 선 1부분은 조종하드웨어페트리망이며 선 2부분은 알고리즘 2를 통해 설계된 닫긴고리페트리망이다. 그림에서 이행  $o_{L_1}$ 은  $C_1$ 이 투입이고  $C_2$ 가 차단이면 촉발되는데 PLC프로그램에서는  $o_{L_1}$ 이 구역  $Z_1$ 에 있는 차가  $Z_2$ 쪽으로 이동할수 있도록 하기 위하여  $L_1$ 을 on으로 전환하는 지령에 의하여 실현된다. 그리고 이행  $c_{L_1}$ 은  $C_2$ 가 투

입일 때 촉발되는데 이것은 차가  $Z_2$ 에 도착하였다는것을 의미한다.  $o_{L_4}$ 와  $c_{L_4}$ 는 각각  $o_{L_1}$ 과  $c_{L_1}$ 에 유사하다.

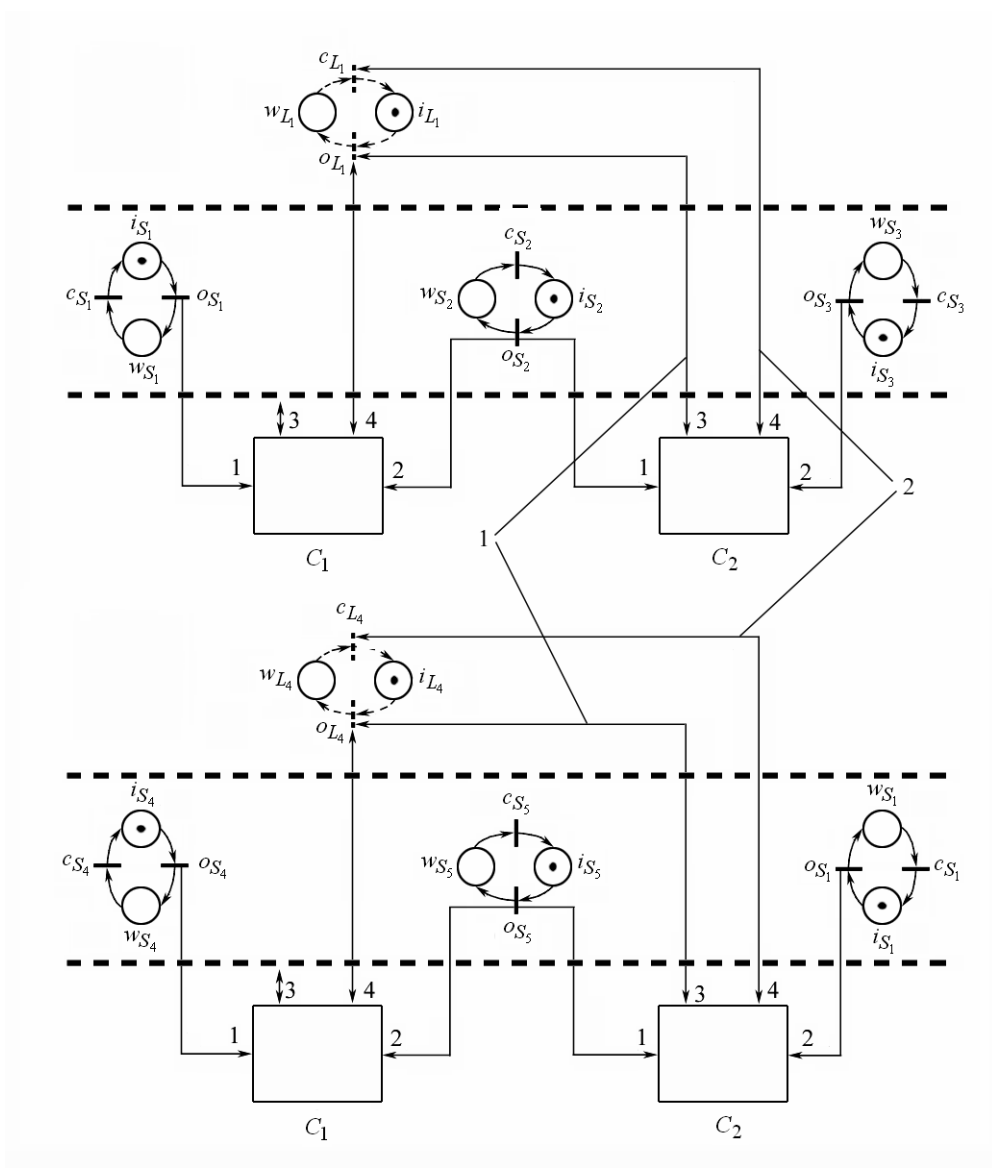


그림 5. 그림 1의 무인운반체계에서 2개의 선배당을 가진 닫힌고리페트리망

정리 무인운반체계의 선배당  $LA=(Z_x, Z_y, Z_z)$ 가 주어지고 만일 조종구조가 알고리즘 2에 의하여 조종하드웨어페트리망에서 설계된다면 구역  $Z_x$ 와  $Z_y$ 들사이의 안내경로에서 임의의 차충돌을 회피할수 있다.

증명 알고리즘 2에 의하여 이행들은  $w_{ll(LA)}$ 의 상태가 조종목적 (1)에 따라서 변하도록 설계된다. 보조정리로부터 알고리즘 2에 의하여 설계된 조종구조는 구역  $Z_x$ 와  $Z_y$ 들 사이의 안내경로에서 임의의 차충돌을 피할수 있다.



## 2. 달긴고리페트리망의 사다리도프로그램으로 변환

PLC에 의한 감시기(달긴고리페트리망)를 실현하기 위하여 달긴고리페트리망으로부터 사다리도프로그램을 작성하여야 한다.

정의 8  $y$ 를 무인운반체계에서 올림-내림계수기라고 하자. 이때 무인운반체계의 달긴고리페트리망모형에서  $T(y)=P_y^1$ 은 위치  $P_y^1$ 의 입구이행들의 모임이며  $T'(y)=P_y^2$ 는  $P_y^2$ 의 입구이행들의 모임이다.

정의 9  $z$ 를 무인운반체계에서 주행고리라고 하자. 무인운반체계의 달긴고리페트리망에서  $T(z)=i_z \cdot \cap \cdot w_z$ 는 위치  $i_z$ 의 출구로도 되고 위치  $w_z$ 의 입구로도 되는 이행들의 모임이다. 그리고

$$T'(z)=i_z \cap w_z \cdot$$

은  $w_z$ 의 출구로도 되고  $i_z$ 의 입구로도 되는 이행들의 모임이다.

그림 1에서  $C_1$ 과  $L_1$ 이 각각 올림-내림계수기와 주행고리일 때 정의 8과 9에 따라 달긴고리페트리망은

$$\begin{cases} T(c_1)=\{o_{s_1}\}, T'(c_1)=\{o_{s_2}\} \\ T(L_1)=\{o_{L_1}\}, T'(L_1)=\{c_{L_2}\} \end{cases}$$

로 표시된다.

무인운반체계의 달긴고리페트리망을 사다리도프로그램으로 변환하기 위한 알고리즘은 다음과 같다.

알고리즘 3 무인운반체계의 달긴고리페트리망을 LD프로그램으로 변환

입력: 달긴고리페트리망 ( $N_c=(p_c, T_c, E_c), m_0$ ), 올림-내림계수기모임  $\Gamma$ , 무인운반체계의 주행고리모임

출력: 주어진 무인운반체계의 PLC프로그램

① for all  $C \in \Gamma$

② 올림-내림계수기접점과 선분  $C$ 를 작성하고  $PV=1$ 로 설정하며  $QU$ 말단을  $C$ 와 연결한다. 그리고  $C$ 를 오른쪽 전원선과 연결한다.

③ for all  $O_s \in T(C)$  do

④ 접점  $S$ 를 작성하고 그것과 왼쪽 전원선을 연결한다. 그리고 접점을 올림-내림계수기  $C$ 의  $CU$ 말단과 연결한다.

⑤ end for

⑥ for all  $O_s \in T'(C_k)$  do

⑦ 접점  $S$ 를 작성하고 그것과 왼쪽 전원선을 연결한다. 그리고 접점을 올림-내림계수기  $C$ 의  $CD$ 말단과 연결한다.

⑧ end for

⑨ end for

⑩ for all  $L_j \in \Delta$  do

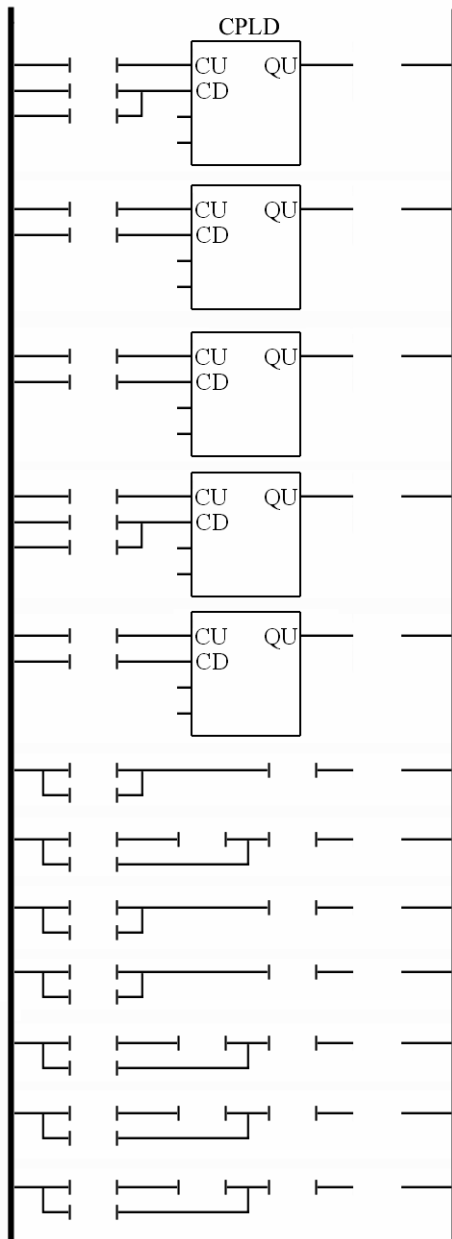


그림 6. 그림 1의 무인운반체계의  
LD프로그램

프로그램을 설계하는 방법 즉 무인운반체계를 조종하드웨어페트리망으로 모형화하고 이 조종하드웨어페트리망, 조종요소들간에 위상구조, 형식화된 조종목적들로부터 닫긴고리페트리망을 설계하고 닫긴고리페트리망을 사다리도프로그래밍으로 변환하는 방법을 제안하였다. 이 방법은 신뢰성이 높으며 PLC프로그램을 고속으로 설계하는데 이용될수 있다.

⑪ for all  $t \in T(L_j)$  do

⑫  $B(t) = (\bigwedge_{w_{C_k} \in t} C_k) \wedge (\bigwedge_{i_{C_k} \in t} \bar{C}_k) \wedge (\bigwedge_{w_{L_j} \in t} L_j) \wedge (\bigwedge_{i_{L_j} \in t} \bar{L}_j)$

⑬ end for

⑭ for all  $t \in T'(L_j)$  do

⑮  $B'(t) = L_j \wedge (\bigvee_{i_{C_k} \in t} C_k) \wedge (\bigvee_{w_{C_k} \in t} \bar{C}_k)$ ;

⑯ end for

⑰  $L_j = B(L_j) = (\bigvee_{t \in T(L_j)} B(t)) \vee (\bigwedge_{t \in T'(L_j)} B'(t))$ ;

⑱  $B(L_j)$ 를 2진변수들의 논리적의 논리합으로 간소화한다.

⑲  $B(L_j)$ 의 오른쪽에 있는 매 변수항에 대하여 변수의 거울형태로 나타나면 보통의 닫힌 접점을 쓴다. 그렇지 않으면 보통의 열린접점을 쓴다.  $B(L_j)$ 의 왼쪽에 대하여 선류  $L_j$ 를 쓴다. 다음  $B(L_j)$ 에 따라 접점과 선류를 연결한다.

⑳ end for

프로그램을 고찰하기 쉽게 하기 위하여 변수들의 이름을 무인운반체계에서 해당한 수감부들, 계수기들 혹은 주행고리들의 이름과 같이 붙인다. 실제로 A가 수감부, 계수기 혹은 주행고리들의 이름일 때 사다리도프로그래밍의 변수이름도 A로 표시한다.

알고리즘 3에서 ②-⑯은 올림-내림계수들에 대한 부분망을 LD로 변환하며 ⑰-⑳은 주행고리에 대한 LD프로그램이다.

알고리즘 3에 따라 닫긴고리페트리망에 대한 사다리도프로그래밍을 그림 6에 보여주었다.

## 맺는 말

무인운반체계에서 차충돌을 막기 위한 PLC

## 참 고 문 헌

- [1] N. Singh et al.; J. Intell. Manuf., 22, 2, 219, 2011.
- [2] M. Dotoli et al.; Int. J. Prod. Res., 42, 9, 1787, 2004.
- [3] M. P. Fanti; In Proc. 6th Int. Workshop Discrete Event Syst., 10, 61, 2002.
- [4] N. Wu et al.; IEEE Trans. Syst. Man, Cybern. B, Cybern., 35, 6, 1193, 2005.
- [5] M. V. Moreira et al.; IEEE Trans. Autom. Sci. Eng., 11, 1, 48, 2014.

주체108(2019)년 5월 5일 원고접수

## A Method of Controller Design for Automated Guided Vehicle Systems on Petri Nets

*Ji Chol*

We proposed a method to model an AGV system as a control-hardware PN and formulated a method to design a PN controller(the closed-loop PN) for collision prevention.

Key words: AGV system, PN, PLC