

다중 AGV의 이동시간과 작업시간을 고려한 고정 경로에서 충돌 회피 알고리즘

류 강 수[†]

Collision Avoidance Algorithms of Multiple AGV Running on the Fixed Runway Considering Running and Working Time

Gang Soo Ryu[†]

ABSTRACT

An AGV(Automated Guided Vehicle) where is running on production automated system is related efficiency of production system similarly. On previous study proposed a path collision avoidance algorithms using shortest path of AGV. Running time about loading and unloading with shortest path of AGV is important factor to decide the production system efficiency. In this paper, we propose a method of shortest path and shortest time. Also propose the decision making method of collision avoidance position for setup a shortest runway for next command. To do verify the proposed method consist a simulation for AGV. Finally, we compare and analyse the proposed system between the existing system and show that our system can effectively the performance.

Key words: Multiple AGV, Collision Avoidance, Fixed Runway, Working Time

1. 서 론

생산 자동화 시스템에서 원자재를 보다 효율적으로 운송하기 위해 무인 반송 차량(automated guided vehicle, AGV)의 요구가 증가하고 있다. 무인 반송 차량의 효율적인 운영은 생산 시스템의 효율성과 생산성 향상과 밀접한 관련이 있다. 이러한 무인 반송 차량의 효율적인 운영을 위하여 고도화된 운영 기술이 요구되고 있는 실정이다[1].

무인 반송 차량은 유도선 없이 개방된 공간을 카메라 비전, 센서 등을 활용하여 이동하는 개방 경로 방식과 유도선과 같은 고정된 경로를 이동하는 고정 경로 방식으로 구분 할 수 있다[2]. 개방 경로 방식은 무인 반송 차량에 카메라, 거리 센서 등을 부착하고

이동 경로 주변에 설치 된 다양한 센서 및 위치 표식을 이용하여 운영한다[3]. 이러한 개방 경로 방식은 이동 경로상의 물체를 회피하기 위한 영상 인식, 목적지까지의 최단경로 제어 등 상당히 복잡한 기술들이 적용되어야 하며, 현재까지 산업현장에서 만족할 만한 해결책이 제시되지 못하고 있는 실정이다. 반면 고정 경로 방식은 무인 반송 차량이 이동해야 할 경로를 사전에 규정함으로써 보다 안정적인 운영이 가능하다는 장점이 있다[4].

다수개의 무인 반송차량이 고정식 경로를 운행할 경우 고정된 경로의 점유와 차량 간 충돌의 문제가 발생한다. 이러한 문제를 해결하기 위해 고정 경로를 순환하도록 구성된 후 최단 경로를 탐색하고, 정해진 경로를 주행하기 위해 배정된 작업 차량을 제외한

※ Corresponding Author : Gang Soo Ryu , Address: (39123) 37 Yaeunro, Gumi, Gyeongbuk, Korea, TEL : +82-54-440-1232, FAX : +82-54-440-1237, E-mail : gstryu@gumi.ac.kr

Receipt date : Oct. 11, 2018, Revision date : Nov. 6, 2018
Approval date : Nov. 7, 2018

[†] Dept. of Electronics & Computers Engineering, Gumi University

대기 차량은 순환 경로를 이용하여 경로의 점유와 차량간 충돌 문제를 해결하고 있다[5]. 순환 경로를 구성하기 위해서는 물리적으로 여유 공간이 필요하며 경로 순회를 위한 알고리즘이 제시되어야 한다. 이러한 기존의 방법은 최단 경로 배정의 장점을 극대화하기 위한 방안으로써 시스템 구성의 시간적, 공간적 비용이 증가하는 경향이 있다[6].

본 논문에서는 다중 무인 반송차량의 이동시간과 작업시간을 고려한 고정 경로에서 충돌 회피 알고리즘을 제안한다. 제안한 알고리즘은 최단 경로 탐색과 동작중인 무인 반송 차량의 작업시간과 운반 시간 등을 고려한 최소 작업 시간을 이용하여 다수의 무인 반송 차량을 효율적으로 운영할 수 있는 방안을 제시한다. 또한 제안 방법에서는 주행공간을 동적 단위 영역으로 생성하도록 하였으며 주행 공간을 보다 효율적으로 활용하도록 하였다. 그 결과 동작중인 차량의 잔여 작업시간을 최적 경로 탐색에 포함함으로써 생산 효율성을 높일 수 있도록 하였으며, 충돌 회피 시 다음 명령에 대한 작업에 효율적으로 대응함을 확인하였다. 본 논문의 구성으로 2장에서는 기존의 연구에 대해 기술하고, 3장에서는 제안하는 방안에 대하여 기술한다. 4장에서는 시뮬레이션 결과를 분석하고, 마지막 5장에서는 연구 결과와 향후 연구 계획에 대하여 논의 후 결론을 맺는다.

2. 관련연구

2.1 AGV 충돌방지 및 교착 상태 해결방법

AGV 운영 시스템에서 충돌방지 및 교착 상태 해결방법은 두 AGV 간 충돌과 교착을 예측하여 회피하는 방안과 셋 이상의 AGV간의 교착이 발생 후 이를 감지하여 해결하는 방안이 있다[7]. 이 방안은 주행 관리 기능에 중점을 두고 있었으며, 먼저 AGV들이 주행 가능한 공간을 관리의 기본이 될 단위 영역으로 나누도록 하였다. 기존의 단위 영역으로 존(zone) 또는 그리드(grid)를 사용하여 주행 공간에 단위 영역들이 정적으로 사전에 정의되었다고 가정하였으나, 제안하는 부분에서는 동적으로 단위 영역들을 생성하도록 하였고 주행 공간을 보다 효율적으로 활용하는 방식이다. 하지만 이 연구에서 제안한 방안은 AGV간의 교착상태와 충돌에 대한 문제를 해결하기 위한 방안만을 제시하였으며 주행 중에 지연

되는 시간이나 전체적으로 소요 시간이 짧은 경로일 경우에는 고려하지 않은 단점이 있다.

2.2 위성 항법에 기반한 AGV 장애물 회피

다른 방법으로 위성항법시스템을 이용하여 AGV를 활용하는 방법을 제안하고 있다[8]. 이 방법에서는 레이저 스캐너 및 회피 벡터를 통한 회피 경로 설정 알고리즘으로 시스템을 구성하고, 성능을 분석을 하여 결과를 도출하고 있다. 또한 제안하는 알고리즘에는 장애물 검출과 회피 경로 설정으로 분류되는데 아래의 수식 (1) 및 (2)를 통해 장애물을 판단할 수 있게 된다.

$$C_k(E) = P(E) + r \times \sin(\Phi + \beta) \quad (1)$$

$$C_k(N) = P(N) + r \times \cos(\Phi + \beta) \quad (2)$$

그리고 회피경로 설정에서는 앞으로의 기준계적과 장애물의 위치를 바탕으로 회피 방향을 결정하며 다음과 같은 수식 (3) 및 (4)로 해결할 수 있게 된다.

$$\alpha = \tan^{-1} \left(\frac{R_{i+1}(E) - R_i(E)}{R_{i+1}(N) - R_i(N)} \right) \quad (3)$$

$$\epsilon = \tan^{-1} \left(\frac{C_{k+1}(E) - R_i(E)}{C_k(N) - R_i(N)} \right) \quad (4)$$

시스템 구성과 실험결과로 실질적 위성항법기반의 AGV가 효율적으로 동작하는 것을 확인 할 수 있다. 그러나 기존의 연구에서는 한 대의 AGV에 한해서만 연구결과가 나온 것으로 분석되며, n개 이상의 AGV를 운용하고 있을 때 서로 간에 충돌이 발생할 수 있는 문제가 발생하고, 이 경우에 대한 대비책을 제시하지 않았다. 그리고 골프장 같은 비교적 넓은 범위에서 주로 테스트가 이루어졌기 때문에 기타 좁은 지역에서의 짧은 경로에 대한 분석은 언급되지 않았으므로 비용적인 측면이나 구성가능 한 부분에서 활용도가 비교적 적을 것으로 예상된다.

2.3 에이전트 기반 충돌 감지와 해결

또 다른 연구에서는 AGV의 이동경로에 대한 연구가 이루어졌다[9]. 이 연구에서는 분산 제어방식의 AGV 제어에서 AGV의 이동경로에 대한 문제와 충돌감지에 대한 해결이 중요한 문제로 지적되었다. 충돌 회피 문제를 해결하기 위해 AGV에 기계학습을 적용한 사례와 에이전트(agent) 기술을 사용하여 분

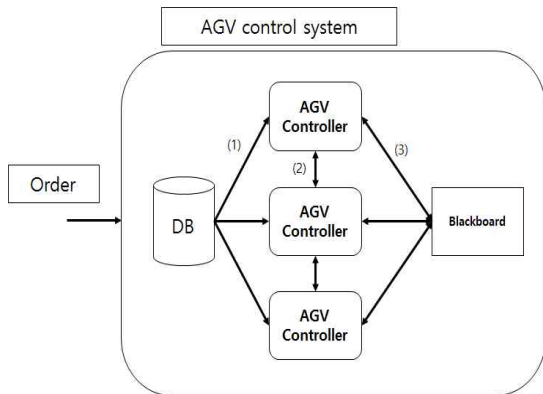


Fig. 1. AGV control System.

산제어 시스템에 적용한 에이전트 구조 등이 있으나 구체적인 충돌 감지에 대한 알고리즘 연구가 부족한 것으로 판단되어 다중 에이전트(multi-agent) 기술로 AGV의 충돌 감지와 해결방법을 제안하고 있다. AGV 제어 시스템이 본 논문에서 중요한 부분으로 언급되고 있으며 AGV간의 대화기능과 협상 기능으로 새로운 경로를 생성하여 문제를 해결하고 있다. 이 시스템은 AGV 제어기, 데이터베이스, blackboard로 되어 있으며, AGV 제어기에서 대부분은 중요한 기능들이 수행되고 있다. 아래의 Fig. 1은 AGV 제어 시스템을 나타내고 있다. 이 방식은 DB의 정보를 참조하여 AGV 제어기가 수행되지만 데이터베이스가 훼손될 경우에 대비책이 부족하다는 단점이 있다.

3. 제안한 AGV 충돌회피 알고리즘

3.1 다중 AGV의 이동시간과 작업시간

다중 AGV의 이동시간과 작업시간에 대한 내용을 언급하기 바람. 아니면 제목과 연관성이 없음

현재의 제조공정은 다양한 종류의 제품과 고객의 요구에 의하여 단순한 작업환경에서 복잡한 환경으로 변화하고 있다. 이러한 제조공정의 변화는 자동화 시스템으로 확산되고 있으며, AGV는 이러한 자동화 제조공정에서 생산 효율성을 높이기 위한 방안으로 사용되고 있는 추세이다. 이러한 AGV의 이동시간은 고객의 납기를 만족시키기 위하여 운반 시간과 대기 시간을 최소화 하여야 한다[10]. 고객의 요구는 생산되는 제품의 품질과 함께 지정된 시간이 포함된다. 따라서 제조공정에서의 최적화된 자원배치, AGV의

운반시간과 대기시간을 줄여서 전체 공정이 원활하게 흐를 수 있도록 하여 최대한의 제조공정 효율성을 높여야 한다[11].

3.2 경로계획

본 절에서는 작업 우선 순위 (shortest job first, SJF)와 최단경로(shortest path, SP)를 이용한 방안을 기술한다. Table 1은 경로를 선택하기 위한 변수들을 정의 한다.

AGV_n 은 AGV의 식별번호를 나타낸다. w_i 와 c_i 는 실제 작업을 위한 원재료의 로딩 포인트(loading point)와 언로딩 포인트(unloading point)를 나타내며, P_x^y 는 로딩/언로딩 포인트간 최단 거리를 나타내고, TP_x^y 는 P_x^y 를 이동하는 추정 시간을 나타낸다. TL_x 는 로딩 포인트에서의 소요시간을 나타내며, TUL_x 은 언로딩 포인트에서의 소요시간을 나타낸다. TE_x^y 는 로딩/언로딩 포인트간 소요시간을 나타내고, TS 는 AGV_n 의 현재 위치에서 원 재료를 적재하여 작업지점에서의 하역까지 소요되는 최소의 시간을 나타내며 식(5)와 같이 유도된다. 최소시간에 의하여 동작되어야 할 무인 반송차량은 $MIN(TS_{AGV_n})$ 에 의하여 결정한다.

$$TS_{AGV_n} = (TP_{c_i}^{w_j} - TE_{c_i}^{w_j}) + TUL_{w_j} + TP_{w_j}^{c_k} + TL_{c_k} + TP_{c_k}^{w_l} \quad (5)$$

식 (5)에서 $(TP_{c_i}^{w_j} - TE_{c_i}^{w_j})$ 은 작업에 필요한 추정된 최소 시간과 실제 작업에 소요된 시간을 계산한다. 식 (5)의 $(TP_{c_i}^{w_j} - TE_{c_i}^{w_j})$ 은 AGV가 위치한 포인트를 나타내는 것으로, 결과 값이 0이면 AGV가 작업 포인

Table 1. Experimental variables

Item	Descriptions
AGV_i	AGV #i {i : 0, 1, 2, ..., n}
w_i	Working point {i : 0, 1, 2, ..., n}
c_i	Conveyer point {i : 0, 1, 2, ..., n}
P_x^y	Shorted path from x to y
TP_x^y	Estimated time of shorted path from x to y
TL_x	Estimated loading time of x
TUL_x	Estimated unloading time of x
TE_x^y	Elapsed time from x to y
TS	Entire elapsed time from load to unload

```

int t = 0;
for(int i = t; i<v; i++){
    if (collision.transform.GetComponent<AGV> () != null) {
        if (GetComponent<Select> ().number[i] == collision.transform.GetComponent<Select> ().number[i]){
            Vector3 pos = Vector3.zero;
            if (priority[i] == 0 && collision.transform.GetComponent<AGV> ().priority[i] == 0) {
                pos = Vector3.Normalize (collision.transform.position - transform.position);
                collision.transform.GetComponent<Run> ().agvRun (pos);
            }
            if (priority[i] > collision.transform.GetComponent<AGV> ().priority[i]) {
                pos = Vector3.Normalize (collision.transform.position - transform.position);
                collision.transform.GetComponent<Run> ().agvRun (pos);
            }
        }
    }
}
}
}
}

```

Fig 2. Algorithms for collision avoidance.

트에 위치한 경우이며, 0이 아니면 즉 음수인 경우 작업 포인트와 포인트의 경로상에 위치한 경우를 나타낸다. 이것을 이용하여 $MIN(TS_{AGV_n})$, 즉 최소 작업 시간을 유도하며, 현재 동작중인 AGV_n 중 근접한 AGV_n 를 선택할 수 있는 기준을 제시 할 수 있다.

3.3 회피 지점 탐색 알고리즘

고정된 경로 상에서 결정된 최적의 경로를 운행하기 위하여 식 (5)로 무인 반송차량이 결정된다. 이때 경로 상의 충돌을 회피하기 위하여 결정에서 배제된 무인 반송 차량의 다음 명령을 위한 최단 경로 상의 회피 지점을 선정하여야 한다. Fig. 2는 제안하는 알고리즘을 나타낸다.

제안하는 알고리즘은 로딩/언로딩 포인트 및 근접 위치에서 작업중인 AGV_i 를 기준으로 다음 경로 설정을 위한 AGV_j 에서의 충돌 회피 알고리즘이다. AGV_j 에서 인식된 작업 경로 상에 AGV_i 가 존재하는지 우선 판단하여 충돌 여부를 결정한다. 이후 충돌이 판단 될 경우 AGV_j 에서 최적의 경로를 계산하여 작업 경로를 배정한다. 충돌이 판단되지 않으면 AGV_i , AGV_j 각각에서 최단 경로를 판단하여 최단 경로가 설정된 AGV 가 작업을 진행한다.

4. 실험결과 및 성능분석

4.1 실험 방법

본 논문에서 제안한 알고리즘의 성능을 분석하기 위하여 L사의 2차 전지 생산 라인을 모델링하여 실험하였다. Fig. 3에서와 같이 설비를 운영하기 위한 고정 라인을 구축하고, 무인 반송 차량 A, B를 고정된 경로에서 동작하도록 구성한다.

c_1 는 원자재를 공급하는 컨베어의 위치이며, w_n ($n:1,2,\dots,17$)은 생산 설비가 동작중인 위치이다. 운영 효율을 위하여 무인 반송 차량 위치 추적을 위한 w_1, w_2, w_3, w_4, w_5 를 구성하고, 이를 충돌 회피 지점으로 운영한다.

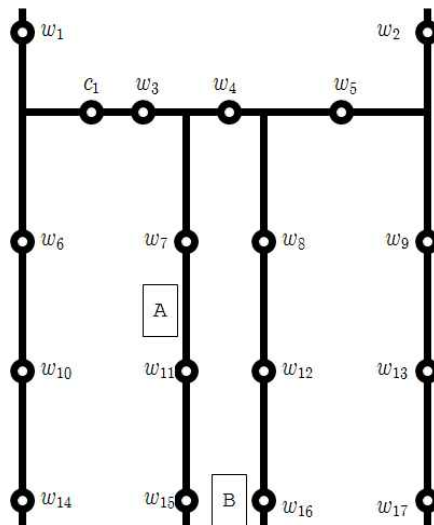


Fig 3. Test environments.

Table 2. Experimental variables

Item	Value (msec)	Descriptions
$TE_{w_{n-1}}^{w_n}$	30	Elapsed time between w_n and w_{n-1}
$TE_{w_3}^{c_1}$	10	Elapsed time between c_1 and w_3
TL_x	40	Estimated loading time of x
TUL_x	40	Estimated unloading time of x

실험의 무인 반송 차 A는 목적지 w_{12} 까지 이동 중이며, B는 w_{16} 에서 작업을 완료 후 다음 명령을 대기 중이다. w_{12} 에서 새로운 명령이 생성 된 경우 무인 반송차가 선정되는 경우를 실험한다.

4.2 성능 평가

Table 2는 성능평가에 사용된 실험 데이터를 나타낸다.

Table 3의 실험 결과 1에서는 $TP_{c_1}^{w_{12}} - TE_{c_1}^{w_{12}}$ 의 값이 0보다 작은 음수의 경우로서 동작중인 무인 반송차 A는 작업 포인트와 포인트의 경로 상에 위치한 상황을 나타낸다. 따라서 최소 작업 시간(250 msec)을 결정하고, A를 다음 명령으로 할당하도록 결정한다. w_{16} 에 위치한 B는 w_{12} 의 최종 위치에서 충돌이 발생하진 않지만, A와 같은 경로 상에 위치하게 되어, 경로를 점유하게 되는 상황이 발생한다. 따라서 B의 위치에서 충돌을 예측하고 다음 명령을 수행하기 위한 최적의 위치를 결정하여 이동한 결과이다. Table 3의 실험 결과는 최소시간 추적 및 충돌회피 알고리즘에 의하여 실행된 결과를 나타낸다. 무인 반송차 A는 최소시간 추이에 의하여 명령이 할당되었으며, 이동 경로상에 위치한 무인 반송차 B는 충돌예측 알고리즘에 의하여 대기 최소시간 회피지점을 탐색 후 이동한 결과를 나타낸다.

Table 4의 실험 결과 2는 무인 반송차 A가 w_{11} 에

Table 3. Result 1 of experiment

Item \ AGV	A	B
Runway Time (msec)	250	280
$TP_{c_1}^{w_{12}} - TE_{c_1}^{w_{12}}$	minus	0
Collision	0	1
Avoid Point	-	w_5

Table 4. Result 2 of experiment

Item \ AGV	A	B
Runway Time (msec)	220	280
$TP_{c_1}^{w_{12}} - TE_{c_1}^{w_{12}}$	0	0
Collision	1	0
Avoid Point	-	-

서 작업완료한 상황이며, $TP_{c_1}^{w_{12}} - TE_{c_1}^{w_{12}}$ 의 값이 0인 경우로서, SP 경로 설정 알고리즘에 의하여 무인 반송차 A에 명령이 할당되어야 하는 상황이지만, 충돌 회피 알고리즘에 의하여 무인 반송차 B와 충돌이 예상되어, 작업을 무인 반송차 B에 할당한 상황을 나타낸다.

Table 3과 Table 4의 실험결과는 최소 경로를 추적하는 알고리즘에서 충돌 예측이 추가되어 동작한 결과를 알 수 있다. 제안하는 알고리즘으로 최적의 경로 탐색에 의하여 발생 할 수 있는 충돌 문제를 사전에 예측함으로써 무인반송차량의 대기시간을 줄일 수 있도록 하였다. 단순한 충돌회피 방법이 아닌 최적경로와 이동경로를 계산함으로써, 다수의 무인 반송차에 대한 운용효율을 높일 수 있었다.

5. 결론

본 논문에서는 다중 무인 반송차량의 이동시간과 작업시간을 고려한 고정 경로에서 충돌 회피 알고리즘을 제안하였다. 이전 연구에서는 최단 경로 탐색을 중심으로 최적의 경로에 대하여 연구를 진행하였다. 이 경우 동작중인 무인 반송차량의 남은 작업시간에 대한 상황을 고려하지 않을 경우 실험 결과에서와 같이 충돌이 발생하거나, 비효율적인 최적 경로가 탐색될 경우가 발생하였다. 본 논문에서는 동작중인 차량의 잔여 작업시간을 최적 경로 탐색에 포함함으로

써 생산 효율성을 높일 수 있도록 하였으며, 충돌 회피 시 다음 명령에 대한 작업에 효율적으로 대응하도록 구성하였다. 또한 주행 공간을 보다 효율적으로 활용하는 동적으로 단위 영역들을 생성하는 방식이다. 하지만 이 연구에서 제안한 방안은 AGV간의 교차상태와 충돌에 대한 문제를 해결하기 위한 방안만을 제시하였으며, 주행 중에 지연되는 시간이나 전체적으로 소요 시간이 짧은 경로일 경우에는 고려하지 않은 단점이 있다.

현재의 연구에서는 무인 반송차량과 이를 제어하기 위한 시스템에 국한하여 연구를 수행하였다. 향후 생산 설비에서 운영되는 시간, 즉 설비의 요청 시간을 예측할 수 있는 연구가 병행 된다면, 보다 효율적인 무인 반송 차량 연구가 진행 될 것으로 판단된다.

REFERENCE

- [1] S. Byun and M. Kim, "A Vision Based Guideline Interpretation Technique for AGV Navigation," *Journal of Korea Multimedia Society*, Vol. 15, No. 11, pp. 1319-1329, 2012.
- [2] S. Shin, I. No, T. Hwang, S. Shin, J. Shim, M. Oh, et al., "A Method of Collision Avoidance for Autonomously Mobile Robot using the antenna, IR and ultrasonic," *Journal of Korea Multimedia Society*, Vol. 15, No. 10, pp. 1236-1246, 2012.
- [3] S. Byun and M. Kim, "Pallet Measurement Method for Automatic Pallet Engaging in Real-Time," *Journal of Korea Multimedia Society*, Vol. 14, No. 2, pp. 171-181, 2011.
- [4] J. Lee and Y. Sung, "A Method for Reducing Path Tracking Errors of an AGV with a Trailer," *Journal of Korea Institute of Electrical Engineers*, Vol. 63, No. 1, pp. 132-138, 2014.
- [5] J. Lee and Y. Seo, "Development of Multi-agent Based Deadlock-Free AGV Simulator for Material Handling System," *Journal of the Korea Society for Simulation*, Vol. 17, No. 2, pp. 91-103, 2008.
- [6] J. Lee and Y. Seo, "Development of Simulator for Designing Unidirectional AGV System,"

Journal of the Korea Society for Simulation, Vol. 17, No. 4, pp. 133-142, 2008.

- [7] J. Kang, L. Choi, B. Kang, K. Ryu, and K. Kim, "Collision Avoidance and Deadlock Resolution for AGVs in an Automated Container Terminal," *Journal of Intelligent Information Systems*, Vol. 11, No. 3, pp. 25-43, 2005.
- [8] W. Kang, E. Lee, S. Chun, M. Heo, and G. Nam, "Obstacle Avoidance of GNSS Based AGVs Using Avoidance Vector," *Journal of the Korean Society for Aeronautical and Space Sciences*, Vol. 39, No. 6, pp. 535-542, 2011.
- [9] S. Oh, E. Lee, Y. Cha, and M. Jung, "Conflict Detection and Resolution for Distributed Control of AGVs Based on Agent Technology," *Proceeding of the Spring Conference of Korean Institute of Industrial Engineers*, pp. 191-198, 2004.
- [10] G. Kim, H. Gho, and J. Baek, "Effective Dispatching Method for Due-date Satisfaction in Manufacturing Process Using constrained AGV," *Proceeding of the Korean Institute of Industrial Engineers*, pp. 500-507, 2010.
- [11] S. Bae, "The Information of Dispatching Rules for Improving Job Shop Performance," *Journal of the Korea Industrial and Systems Engineering*, Vol. 29, No. 4, pp. 107-112, 2006.



류 강 수

1982년 경북대학교 전자공학과 공학사

1984년 경북대학교 전자공학과 공학석사

1997년 경북대학교 전자공학과 공학박사

1984년~1992년 한국전자통신연구원 선임 연구원
1992년~현재 구미대학교 전자컴퓨터공학부 교수
관심분야 : 컴퓨터네트워크, 패턴인식