AGV 운행을 위한 비전기반 유도선 해석 기술

변성민[†], 김민환^{††}

요 약

AGV는 최근 생산라인에서 활용이 증대되고 있으며, 저렴하고 속도가 빠른 자기 테이프 유도 방식의 AGV가 널리 사용되고 있다. 그러나 이러한 방식의 AGV 운행 시스템은 고가의 설치비와 운행경로 변경의 유연성 저하 등으로 인해 다품종 소량 생산 시스템이나 협업 기반 생산 시스템에 적용하기 어려운 단점이 있다. 본 논문에서는 설치 및 변경이 매우 용이한 색 테이프 또는 페인트 기반의 유도선을 카메라 비전을 이용하여 검출하고 해석하는 기술을 제시한다. AGV 운행경로의 자유로운 설정 및 변경이 가능하도록 분기 지점이나 합류 지점과 같은 복잡한 구조의 유도선 부분도 자동으로 분석하는 방법을 제시하며, 또한 안정적인 AGV 운행이 가능하도록 적합한 유도선 추적방향을 결정하는 방법도 제시한다. 제시한 기술을 구현 적용한 실제 산업용 AGV의 실시간 운행 실험을 통해, 제시한 기술이 산업현장에서 실제로 안정적으로 적용 가능함을 확인하였다.

A Vision Based Guideline Interpretation Technique for AGV Navigation

Sungmin Byun[†], Minhwan Kim^{††}

ABSTRACT

AGVs are more and more utilized nowadays and magnetic guided AGVs are most widely used because their system has low cost and high speed. But this type of AGVs requires high infrastructure building cost and has poor flexibility of navigation path layout changing. Thus it is hard to applying this type of AGVs to a small quantity batch production system or a cooperative production system with many AGVs. In this paper, we propose a vision based guideline interpretation technique that uses the cheap, easily installable and changeable color tapes (or paint) as a guideline. So a vision-based AGV with color tapes is effectively applicable to the production systems. For easy setting and changing of AGV navigation path, we suggest an automatic method for interpreting a complex guideline layout including multi-branches and joins of branches. We also suggest a trace direction decision method for stable navigation of AGVs. Through several real-time navigation tests with an industrial AGV installed with the suggested technique, we confirmed that the technique is practically and stably applicable to real industrial field.

Key words: Automated Guided Vehicle (무인반송차), Magnetic Guideline (자기 유도선), Guideline Tracing AGV (유도선 추적 AGV), Guideline Structure Analysis (유도선 구조 해석), Vision Based AGV Navigation System (비전기반 AGV 운행 시스템)

※ 교신저자(Corresponding Author): 김민환, 주소: 부산광역시 금정구 장전동 산 30번지 부산대학교 정보컴퓨터공학부(609-735), 전화: 051)510-2423, FAX: 051)510-3533, E-mail: mhkim@pusan.ac.kr
접수일: 2012년 8월 2일, 수정일: 2012년 10월 11일
완료일: 2012년 10월 19일

[†] 준회원, 부산대학교 컴퓨터공학과
(E-mail: cyberide@pusan.ac.kr)

^{††} 종신회원, 부산대학교 컴퓨터공학과

※ 이 논문은 부산대학교 자유과제 학술연구비(2년)에 의하여 연구되었음.

1. 서 론

최근 물류창고, 제품생산라인 등의 산업 현장에서 초기 설비투자 및 교체 비용이 매우 부담스러운 컨베이어 시스템 대신에 무인반송차(Automated Guided Vehicle, AGV)의 활용이 증대되고 있다. 이것은 최근의 다품종 소량 생산 추세에 의한 것으로서, AGV를 활용하게 되면 생산라인의 교체 및 변경에 유연하게 대처할 수 있기 때문이다. 한편, 물류창고나 생산공장에서는 효율성 제고를 위해 다수 AGV를 협업 형태로 운영할 필요가 있는데, 이를 위해 각 AGV의 운행경로를 필요에 따라 자유롭게 지정 및 변경이 가능해야 한다.

AGV의 운행경로 지정 방법은 AGV 유도방식과 밀접하게 연관되어 있는데, 유도방식은 위치기반 추적 방식과 유도선 추적 방식으로 분류할 수 있다. 위치기반 추적 방식은 자신의 위치를 측정하는 센서를 기반으로 자신이 생성한 경로를 자율주행 및 충돌회피 방식[1]에 의해 추적하는 것으로서, 경로 설정 및 변경이 매우 자유롭고 혼잡상황 대처 능력도 높지만 센서가 매우 고가이며 이동속도가 느려 아직 널리 보급되지 못하고 있다. 반면에, 유도선 추적 방식은 전자기선, 자기테이프(magnetic tape), 마그네트 소자 등을 이용해 미리 설치한 유도선 위를 따라가는 것으로서, 경로 설정 및 변경의 유연성은 떨어지는 대신에 시스템의 구성비용이 저렴하며 안정적이면서 반응속도가 빨라 산업현장에서 현재 많이 활용되고 있다.

산업현장에서 대부분 사용하고 있는 자기테이프 유도선 추적 방식에서는 여러 이동물체에 의한 유도선 훼손 및 마모를 방지하기 위해 자기테이프를 바닥에 매립하는 방식을 사용하는데, 이로 인해 초기 설치비가 많이 요구되며 다품종 소량생산 방식에서 요구되는 잦은 경로 변경에 대처하기 어려운 단점도 있다. 또한, 교차 및 분기 구조를 갖는 유도선 경로 시스템에서 AGV의 운행경로는 분기 지점에 매립된 별도 표식(marker)을 이용하여 설정하는데, 이러한 표식 매립 방식도 경로 변경의 유연성을 떨어뜨리는 요인이 된다. 한편, 자기테이프 유도선 추적 방식은 무거운 물체운반을 위한 철판구조의 작업장 바닥에서는 전자기적 신호 장애 및 바닥매립 애로 등으로 인해 활용이 불가능하다.

이러한 문제점들을 해결하기 위한 방안으로서 테

이프에 구성된 유도선 경로 시스템을 구축하여 카메라 비전을 이용하여 추적하는 방법들[2-6]이 제시되었다. 흰색 바닥에 검은색 테이프로 설정한 유도선을 영상처리에 의해 추적하는 방법[2,3]은 분기구조를 전혀 고려하지 않아 현장에 적용하기 어렵다. 방법[4]에서는 검은색 테이프 유도선이 직각을 이루는 교차 지점에 특별한 표식을 배치하여 인식되도록 하였다. 그러나 이러한 직각 형태의 분기구조를 갖는 유도선 설정 방식은 산업현장에서 실제 운영되는 AGV의 기구 구조에 적합하지 않아 사용하기 어렵다. 한편, 그림 1과 같이 산업현장에서 실제 사용이 가능한 실용적인 구조의 유도선을 비전 센서를 이용하여 추적하는 방법[5]에서는 미리 설치된 RFID 태그로부터 분기구조 및 곡선 부분에 관한 정보를 얻어 활용하는 방식을 채택하고 있다. 따라서 기존의 자기테이프 유도선 추적 방식에서와 마찬가지로 경로 변경에 대한 유연성이 낮은 단점이 있다.

방법[6]에서는 입력된 영상으로부터 복잡한 구조의 유도선을 자동으로 해석하여 추적할 수 있는 실험적인 방법을 제시하였다. 입력 영상에서 일부 스캔라인 정보만을 활용하는 방식을 사용함에 따라 실시간 구현도 가능하게 하였다. 그러나 스캔라인 기반의 유도선 해석 알고리즘이 복잡하거나 예외적인 형태의 유도선 부분을 해석하는데 한계가 있음이 발견되었으며, 특히 여러 유도선이 겹쳐져 두껍게 나타나는 분기시작지점 부근에서 AGV의 주행궤도가 진동하거나 유도선을 이탈해 버리기도 하는 문제점이 발견되었다.

본 논문에서는 산업현장에서 실제 적용이 가능한 실용적 구조의 컬러테이프 유도선을 비전 기반으로 실시간 인식하여 해석하는 방법을 제안한다. 이 방법은 유도선 구조 및 AGV 운행경로의 변경에 대해서도 용이하게 적용할 수 있다. 한편, 산업현장에서 사용되는 AGV의 주행제어에 필요한 유도선 추적방향

그림 1. 방법[5]에서 제시된 실용적인 유도선 설정 및 RFID 태그의 설치 예

결정 방법과 AGV 제어 및 작업 지시에 유용한 시각적 마커의 인식방법도 제시한다.

앞으로 2장에서는 AGV 운행 시스템의 개요를 살펴보고, 3장에서 5장에 걸쳐 유도선 해석 및 추적 기법에 대하여 상세히 기술한다. 6장에서는 실험결과를 통해 제시된 방법을 현장에서 안정적으로 적용이 가능함을 보이고, 7장에서 결론을 맺는다.

2. AGV 운행 시스템 개요

본 논문에서는 그림 2(a)와 같은 산업용 전륜구동형 AGV를 사용하는데, 하나의 전륜(앞바퀴)이 조향과 구동을 모두 담당하며 2개의 후륜(뒷바퀴)은 동력 없이 차체를 지지하는 방식으로 움직인다. 사용 AGV의 차체 내부에 카메라와 조명을 함께 설치하여 조명 변화 및 장애물로 인한 문제가 발생하지 않도록 하였다. 작업장 바닥에 설치된 유도선은, 그림 2(b)에서와 같이, 바닥의 색상과 다른 색상의 컬러 테이프를 사용하였다.

산업 현장에서 많이 사용되는 전륜구동형 AGV는 이륜 속도차 방식의 AGV와 달리 제자리 회전이나 급격한 선회를 할 수 없는 경우가 많다[7,8]. 따라서 좌우로 선회를 하는 운행경로 부분은 일정한 곡률을 가지는 곡선으로 나타내어야 한다. 예를 들어, 직각으로 교차하는 유도선으로 구성된 교차지점에서는 좌우로 선회할 수가 없으므로, 그림 1의 네 번째 유도선 구조와 같은 모양으로 구성하여야 한다. 그림 2(b)

그림 2. (a) 산업용 전륜구동형 AGV 및 설치 카메라 모습, (b) 전체 운행경로 및 일부 실제 운행경로 모습

그림 3. 유도선 해석 시스템 개요도

의 왼쪽 그림은 작업장 바닥의 유도선 운행경로의 일부 실제 모습을 보인 것이며, 오른쪽 그림은 전체적인 운행경로를 나타낸 것이다.

AGV 운행을 위한 유도선 해석 시스템의 개략적인 처리 절차는 그림 3과 같다. 먼저, 카메라로부터 입력된 영상에서 원근요소를 제거한 후, 이후 과정에 필요한 유도선 정보를 추출하는 전처리 과정을 수행한다. 유도선 추출과정에서 AGV의 속도변경 및 정차 제어와 기타 출력장치(경광등, 멜로디 발생기 등)를 제어하기 위해 사용하는 마커가 검출되면, 마커 코드에 해당하는 적절한 제어신호 처리를 하도록 한다.

한편, 유도선 추적을 위해서는 전처리 과정에서 획득한 정보를 이용하여 현재 AGV가 주행 중인 유도선 부분의 구조를 해석하는 과정을 수행하여야 하며, 이어서 유도선 구조 유형에 따라 AGV의 유연한 전진 및 선회가 가능하도록 하는 목표지점 결정하는 과정을 수행한다. 다음에는 조향륜 위치와 목표지점 위치를 이용하여 조향륜의 진행 각도를 결정한 후 AGV 조향 제어 모듈에 전달하는 과정을 수행한다.

먼저 3장에서 간단한 외길 구조의 유도선을 대상으로 영상 전처리 내용과 조향륜 각도 결정 원리를 소개하고, 4장에서 복잡한 구조의 유도선 부분에 대한 구조해석 과정과 진행 목표지점의 결정 과정을 소개한다. 한편, 마커 검출 및 인식에 관한 내용은 5장에서 별도로 다룬다.

3. 영상 전처리 및 조향륜 각도 결정

여기에서는, 유도선 구조 해석을 용이하게 할 수

있도록 입력영상에서 원근투영요소를 제거하는 방법과 구조해석에 활용할 유도선 교차선분을 추출하는 방법을 소개한다. 아울러 AGV의 진행방향을 결정하는 즉, 조향륜의 각도를 결정하는 방법에 대한 기본 개념을 간단하게 소개한다.

3.1 영상 전처리

3.1.1 원근요소 제거

입력영상에서 유도선은 그림 4의 왼쪽 입력영상에서와 같이 원근투영된 형태로 나타나기 때문에 복잡한 구조의 유도선 구조를 해석하기에 매우 불편하다. 전처리 과정에서는 먼저 이러한 원근투영된 형태의 유도선을 그림 4의 오른쪽 그림에서와 같이 바닥평면에서의 실제 유도선 형태로 변환하는 과정을 수행한다. 이러한 원근요소 제거 과정은 2차원 호모그래피(homography) 변환[9]을 활용하여 수행할 수 있는데, 입력영상의 네 개 점들에 각각 대응하는 실제 바닥평면 점들 간의 변환행렬을 구하여 사용한다. 그림 5의 원근요소가 제거된 예에서 보면, 유도선의 두께가 일정하게 변환되어 나타나는 것을 볼 수 있다. 원근요소가 제거되면, 유도선 구조를 수치적으로 해석하는데 매우 유용하다.

그림 4. 입력영상의 원근요소 제거

그림 5. 원근요소 제거 예제들

3.1.2 교차선분 추출

원근요소가 제거된 영상을 HSV 컬러모델로 변환한 후 색상(hue) 정보를 기반으로 하여 유도선 픽셀들을 먼저 추출한다. 이렇게 구해진 유도선과 그림 6의 왼쪽에서와 같은 세 개의 스캔라인이 만나는 교차선분을 구한다. 교차선분은 유도선 구조 해석 및 목표지점 결정 과정에서 유용하게 사용된다.

스캔라인은 경로탐색라인과 전방 및 후방 해석라인으로 구분되는데, 경로탐색라인은 AGV가 진행할 방향을 결정하기 위한 것이며 전후방 해석라인은 그림 7에서와 같이 외길이 아닌 보다 복잡한 구조를 갖는 유도선을 해석하기 위한 것이다.

그림 6. 외길 유도선과 3개 스캔라인 간의 교차선분 추출 결과

그림 7. 복잡한 구조의 유도선으로부터 추출된 교차선분들

3.1.3 유도선 훼손 복구

교차선분이 유도선 훼손에도 불구하고 잘 추출될 수 있도록 훼손 복구 과정을 거친다. 여기에서는 유도선 폭의 1/2 크기의 반지름을 가지는 원형 마스크로 모폴로지(morphology)[10]의 팽창(expansion) 연산을 수행하여 교차선분을 구한다. 이때 교차선분이 길어지는 것을 보정하기 위하여 구해진 교차선분에서 유도선 폭의 1/2 만큼 좌우에서 잘라낸 것을 최종적인 교차선분으로 결정한다. 불필요한 연산시간을 줄이기 위해 팽창연산은 3개 스캔라인에 대해서만 적용된다. 그림 8에 유도선 훼손복구 과정에 의해 구해진 교차선분이 있는데, 이 과정의 효과를 잘 보여주고 있다.

3.2 조향륜 각도 결정

교차선분을 이용한 유도선 구조해석에 의해 AGV

그림 8. 모폴로지 팽창연산에 의한 훼손복구 과정을 거쳐 구해진 교차선분 예

가 진행해야 할 목표지점이 주어지면, 조향륜의 각도를 제어하여 AGV가 실제로 이 지점으로 진행하도록 해야 한다. 만약 짧은 시간 간격으로 목표지점을 결정할 수 있다면, 유도선을 직선으로 근사화 하여 해석할 수 있다. 이 경우의 조향륜 각도는 그림 9에서와 같이 조향륜의 회전중심점과 목표지점 간의 조향방향 벡터와 AGV 중심선 벡터의 사이각으로 결정된다. 이것은 조향륜이 유도선을 계속 쫓아가도록 제어하는 방식이며 현장에서 많이 활용된다.

그림 9. 조향륜 각도를 결정하는 방법

4. 유도선 구조해석 및 목표지점 결정 방법

다수의 AGV가 운행되는 유도선 경로시스템에는 그림 10의 왼쪽 그림에서와 같이 AGV의 진행방향에 따라 여러 갈래로 분기하는 지점, 합류하는 지점, 외길 형태의 단선 지점 등 다양한 구조 형태가 존재한다. 각 AGV는 자신에게 주어진 경로대로 운행하기 위해서 이러한 유도선 구조를 자동으로 해석하여 진행해야 한다. 아울러 유도선 구조해석 후에는 조향륜이 향해야 할 목표지점도 자동으로 결정해야 한다.

유도선을 실제로 추적할 때 나타나는 구조 유형을 이와 같이 세 가지로 구분하는 경우에 그림 10의 오른쪽에서와 같이 목표지점이 급격히 변하는 문제점

그림 10. 유도선 구조 유형 및 진행 목표지점의 급변현상

이 발생할 수 있다. 즉, 방법[6]에서와 같이 하나의 교차선분만이 있을 때 중심점을 목표지점으로 설정하는 방식을 사용하면, 여러 갈래의 유도선이 겹쳐서 두껍게 나타나는 부분에서 이와 같은 급변 현상이 나타날 수 있다. 이러한 현상은 AGV가 좌우로 요동치게 하는데, 심한 경우에는 AGV가 유도선으로부터 이탈하기도 한다.

본 논문에서는 유도선이 두껍게 나타나는 지점을 진행방향에 따라 선분기 또는 후합류 지점으로 정의하고, 유연한 진행이 되도록 목표지점을 별도로 정하도록 한다. 예를 들어, 그림 11에서와 같이 분기 또는 합류하는 경우에도 선분기 또는 후합류 지점에 도달하더라도 목표지점이 유연하게 옮겨가도록 설정한다.

한편, 그림 12에서와 같은 비정상 분기현상도 발생한다. 왼쪽 그림에서와 같이 분기점에서 유도선이 어긋나게 설치됨에 따라 세 갈래 분기가 아니라

그림 11. 선분기 및 후합류 지점에서 진행 목표지점의 유연한 변화

그림 12. 비정상 분기 현상의 발생 예

일시적으로 두 갈래 분기 현상이 발생하기도 한다. 반면에, 오른쪽 그림에서와 같이 정상적인 세 갈래 분기지점임에도 불구하고 AGV의 회전 진행에 의해 일시적으로 갈래 개수가 잘못되기도 한다. 따라서 이러한 비정상 분기 현상을 포함하여 다양한 예외상황이 발생한 경우를 처리할 수 있는 방법이 필요하다. 본 논문에서는 경로탐색 라인과 전후방 해석 라인으로 구성되는 3개의 스캔라인을 사용하여 해결하고 있다.

4.1 유도선 구조해석 과정

본 논문에서 제시하는 유도선 구조해석 및 목표지점 결정 알고리즘에 대한 상세한 순서도를 그림 13에 보이고 있으며, 표 1은 이 알고리즘에서 사용하는 축약기호에 대한 설명이다.

유도선 구조해석 과정에서는 전처리 과정을 통해 구해진 교차선분의 정보를 바탕으로 상태플래그(S)

표 1. 유도선 구조해석 및 목표지점 결정 알고리즘에서 사용하는 축약기호

기호	설 명
Ns	경로탐색 교차선분의 개수
Nf	전방해석 교차선분의 개수
Nr	후방해석 교차선분의 개수
Ws	경로탐색 교차선분의 폭
Wg	유도선의 기본 폭
Df	전방해석 교차선분들의 간격
Dr	후방해석 교차선분들의 간격
S	상태 (Single, Multiple, Branch) 플래그

를 갱신하면서 AGV가 현재 도달한 지점이 어떤 유형의 구조에 해당하는지를 판단한다. 상태(state)는 단선 주행 상태를 의미하는 Single, 분기 상태를 나타내는 Branch, 합류나 비정상분기 등 Single과 Branch 상태 이외의 모든 상황을 표현하는 Multiple로 구성

그림 13. 유도선 구조해석 과정 및 목표지점 결정 과정에 대한 상세 순서도

되며, 초기값은 Single로 정한다.

먼저 AGV의 진행방향을 판단하는 기준이 되는 경로탐색 라인에서의 교차선분의 개수를 이용하여 단일 교차선분의 경우와 다수 교차선분의 경우로 구분한다. 다수 교차선분의 경우에는 전방해석 라인과 후방해석 라인의 교차선분 정보를 추가로 활용하여 분기 상황인지 또는 그 외의 상황(합류구조 또는 비정상분기 포함)인지를 판단한다. 그림 14에 제시된 판단 기준에 의한 비정상 분기 상황과 합류 상황에 대한 예제를 보이고 있다. 왼쪽 그림은 경로탐색 라인의 교차선분 개수(N_s)와 전방해석 라인의 교차선분 개수(N_f)가 다르기 때문에 비정상 분기 상황으로 판단한 것이며, 오른쪽 그림은 후방해석 라인의 교차선분의 개수(N_r)가 한 개가 아니며 또한 전방해석 라인의 교차선분들 간격(D_f)이 후방해석 라인의 교차선분들 간격(D_r)보다 크지 않기 때문에 합류 상황이라고 판단한 것이다. 분기 상황이 아닌 경우는 합류구조에서와 동일한 처리가 가능하므로 별도로 구분할 필요가 없다.

한편, 단일 교차선분의 경우에는 그 선분의 폭이 유도선의 기본 폭에 비하여 넓은지 여부를 조사한다. 넓지 않은 경우는 단선구조 지점을 의미하며, 넓은 경우는 이전부터 유지해 왔던 상태 플래그의 값에 따라 선분기구조 또는 후합류구조로 해석한다.

그림 14. 유도선 구조해석 과정에서의 비정상 분기지점(좌)과 합류지점(우)으로 판단하는 예제

4.2 목표지점 결정 과정

먼저 단선구조에서는, 그림 13의 상세 순서도 아래 부분에 보인 바와 같이, 주어진 단일 교차선분의 중앙점을 목표지점으로 설정한다.

분기구조 지점에서 최초 분기를 하는 경우에는 미리 설정된 주행경로 정보를 이용하여 적합한 분기 가지를 선정하여야 한다. 주행경로 정보는 AGV 공

정 설계자에 의해 사전에 결정되는 것으로서, 그림 15의 왼쪽 위 부분의 표에서와 같이 분기지점을 순서대로 나열하여 주행경로를 나타내도록 하였다. 예를 들어, 표의 첫 줄에서 첫 번째 분기지점은 두 개의 분기 가지로 구성되는데 진행해야 할 가지는 왼쪽에서 두 번째 가지임을 나타내므로, 표의 아래 그림에서와 같이 분기 교차선분을 선정할 수 있다. 선정된 분기 교차선분에 대해서는 단선구조에서와 마찬가지로 교차선분의 중앙점을 목표지점으로 정한다.

한편, 합류구조 및 비정상분기 지점에서는 다수의 교차선분 중에서 현재 추적하고 있는 유도선에 해당하는 적합한 교차선분을 선정하여야 한다. 먼저 합류구조 지점에서는 그림 15의 오른쪽에서와 같이 현재 프레임 영상에서의 경로탐색 라인의 교차선분 중에서 이전 프레임 영상에서의 목표지점과 중앙점이 제일 가까운 교차선분 즉, 최근접 교차선분을 선정하도록 한다. 최초 분기 이후의 연속된 분기 또는 비정상 분기가 일어나는 지점에서도 마찬가지로 현재 조향 방향에 적합한 최근접 교차선분을 선정하도록 한다. 이러한 최근접 교차선분의 중앙점을 최종 목표지점으로 결정한다.

선분기구조에서는 그림 16의 왼쪽에서와 같이 미리 지정된 주행경로 정보와 연계시켜 목표지점을 결정한다. 먼저 경로탐색 라인에서의 단일 교차선분 상에 분기 가지 수 만큼의 후보 분기점을 생성한다. 제일 왼쪽 및 오른쪽 후보 분기점은 이 선분의 끝점으로부터 유도선 기본 폭의 1/2 만큼 안쪽으로 들어온 위치에 설정한다. 세 갈래 분기를 하는 경우에는 단일 교차선분의 중앙점을 구해 후보 분기점으로 추

그림 15. 경로지정표에 의한 분기 교차선분 선정 방법(좌)과 합류지점에서 최근접 교차선분 선정 방법(우)

그림 16. 선분기 지점에서 AGV의 유연한 진행분기점 선정 방법(좌)과 후합류 지점에서 유연한 AGV 추적에 적합한 최근접점 선정 방법(우)

가 설정한다. 이러한 후보 분기점 중에서 AGV의 진행분기점은 주행경로 정보에서의 진행분기 번호에 해당하는 것으로 선정하고, 이것을 최종 목표지점으로 설정한다.

후합류구조 지점에서는 AGV의 유연한 추적을 위해 조향방향의 변화가 제일 작게 일어나는 목표지점을 선정할 필요가 있다. 먼저 그림 16의 오른쪽에서와 같이 경로탐색 라인에서의 단일 교차선분 상에 선분기구조 지점에서의 유사하게 두 개의 가장자리 후보점을 생성하고, 필요하면 교차선분 중앙점을 세 번째 후보점으로 추가한다. 이러한 후보점 중에서 이전 프레임 영상에서의 목표지점과 제일 근접한 거리의 점, 즉 최근접점을 최종 목표지점으로 정한다.

5. 마커 검출 및 인식 방법

유도선 추적 방식의 AGV에서는 스스로 현재의 위치를 알 수 있는 방법이 없다. 따라서 AGV에게 작업장의 특정 위치에서 정지 또는 속도변경 지시를 내리거나 출력장치를 작동하는 명령을 내리기 위해서는 별도의 마커를 작업장 바닥에 설치해야 한다.

본 논문에서는 유도선 추적용 비전 센서를 이용하여 마커를 추출하고 인식하도록 하였다. 마커는 유도선 근처에 설치하며, 그림 17에서와 같이 바코드와 유사한 모양을 가진다. 좌우 가장자리의 세그먼트는 마커의 존재 유무를 판별하는데 유용하도록 유도선과 동일한 컬러를 사용하며, 내부의 적녹 조합의 세그먼트는 이진코드를 구성하는데 사용된다.

마커 추출 과정에서는 유도선의 교차선분 추출 과정에서와 마찬가지로 실시간 수행에 유리한 라인스캔 방식을 사용한다. 그림 17에서와 같이 마커 스캔라인에서 좌우측 가장자리 세그먼트를 먼저 추출한 후, 내부 세그먼트의 색상 배열을 분석하여 이진코드로 해석한다. 내부 세그먼트의 추출에는 길이의 비례정보와 색상정보를 함께 사용한다. 마커의 길이 정보를 바로 사용하지 않는 이유는 AGV 주행 과정에서 스캔라인과 마커 세그먼트의 방향이 수직임을 보장받을 수 없기 때문이며, 또한 길이 비례정보를 활용하면 설치될 마커의 방향을 정확하게 설정할 필요가 없다는 장점도 생기기 때문이다.

그림 17. 마커의 구성 및 이진코드 해석 예

6. 실험 및 토의

현장에서 실제로 사용하는 상용 AGV에 본 논문에서 제시된 비전 기반의 유도선 해석 및 추적 방법을 구현하여 실험하였다. 외부 조명의 변화로 인한 부작용을 피하기 위하여 AGV의 내부에 카메라와 조명을 설치하였으며, 카메라와 조명의 위치는 탐색영역에서 전반사가 발생하지 않도록 설정하였다. 카메라 자체의 내부변수와 작업장 바닥의 실제 좌표계와 화면 좌표계 간의 관계를 나타내는 카메라 외부변수를 구하기 위한 카메라 검정(calibration) 방법은 편리하면서도 비교적 정밀한 Zhang 검정 기법[11]을 사용하였다.

그림 18에 구현 AGV의 동작 실험에 관한 예제 영상을 나타내었다. 각 예제 영상에서 왼쪽상단의 작은 영상은 실제 작업장에서 움직이는 AGV를 외부 카메라로 촬영한 것이며, 왼쪽하단의 영상은 유도선 추적용 카메라에 입력된 영상을 그대로 보인 것이다. 오른쪽 부분에는 원근요소가 제거된 영상에서 유도선 구조해석을 통해 조향륜 각도를 제어하는 것을

그림 18. 제시된 구조해석 방법으로 구현된 AGV의 동작 비디오 영상들

보이고 있다.

본 논문에서 제시된 경로추적 방법의 정량적 평가를 위하여 AGV 운행 실험의 실제 상황을 반영한 시뮬레이션을 통해 산출된 경로추적 오차를 그림 19에 나타내었다. 이 오차는 조향륜 위치와 유도선 중심선 간 거리 오차의 평균으로 정의하였다. 즉, 조향륜이 유도선 중심에서 벗어나는 정도를 오차로 사용하였다. 본 논문에 제시된 방법과 같이 부분적 직선화(piecewise linear) 방식을 이용하여 추적 방향을 결정하는 경우에는, 조향륜의 위치와 경로탐색 라인 간의 거리 설정에 의해 곡선 부분의 추적 성능이 좌우되게 된다. 이 거리가 작을수록 접선 방향에 근접하게 되며 오차가 작아지게 된다. 이러한 현상은 그림 19의 곡선 추적 평균오차 그래프에서 확인할 수 있다. 실제 구현 AGV에서는 조향륜과 경로탐색 라인 간의 거리를 25cm로 하였으며, 곡선주행 시 유도선 중심라인에서 곡선 안쪽 방향으로 약간 치우쳐 진행함을 알 수 있었다. 반면에, 직선 부분에서는 거의

그림 19. 시뮬레이션을 통하여 산출된 곡선 및 직선에서의 평균 경로추적 오차

오차가 없음을 알 수 있다.

구현 AGV의 동작 실험은 6개월 이상의 장기간에 걸쳐 약 50회 이상의 주행 테스트를 하였으며, 주행 경로가 변하거나 유도선에 부분적인 훼손이 발생해도 오류 없이 잘 동작하는 것을 확인하였다. 유도선이 완전히 끊어진 경우에도 잘 동작하였는데, 이 경우에 끊긴 길이의 한계는 유도선 폭인 5cm 정도임을 알 수 있었다. 이것은 훼손복구에 사용된 모폴로지 원형 마스크의 반지름을 유도선 폭의 1/2 정도로 설정하였기 때문이다. 보다 심한 훼손에 의해 제시한 방법으로 복구가 불가능한 경우에는 안전을 위하여 AGV를 정차하도록 하였다. 구현 AGV의 속도를 마커를 이용하여 변경시켰을 때, 분당 약 24m의 최고 속도로 운행이 가능함을 확인하였다.

한편, 그림 20에서와 같이 작업장 바닥이 철판으로 되어 기존의 마그네틱 기반 AGV를 사용할 수 없는 곳에 본 논문에서 제안된 유도선 구조해석 방법을 적용한 AGV를 테스트하여 제대로 동작하는 것을 확인할 수 있었다. 이 과정에서 유도선 경로를 파란색 테이프로 간단하게 만들어 사용하였는데, 이를 통해 일시적인 경로 설정 및 운반이 필요한 곳에서도 비전 기반 AGV가 유용함을 확인할 수 있었다.

그림 21에는 분기 지점에서 조향륜의 목표지점이 변화하는 것을 보이고 있다. 위쪽의 영상들은 네 개의 스캔라인을 사용하는 방법[6]에 의한 것으로서, 세 번째에서 네 번째로 넘어갈 때 목표지점이 급하게 변함을 볼 수 있다. 반면에, 본 논문에서 제안된 세 개의 스캔라인에 의한 방법에서는 파란색으로 표현된 조향방향 벡터의 끝점 즉 목표지점이 유연하게 유도선 위를 쫓아가고 있음을 볼 수 있다. 이에 따라, 방법[6]에서와 다르게, AGV 주행 궤적의 진동 및 유도선 이탈 현상이 발생하지 않았다.

그림 20. 제시된 방법으로 구현된 AGV를 철판바닥에서 실험하는 영상

그림 21. 기존 방법[6]에서의 목표지점 급변 현상(상)과 본 논문에서 제시된 방법에 의한 안정된 목표지점 변화 모습(하)

7. 결 론

유도선 추적 AGV에 적용할 수 있는 카메라 비전 기반의 유도선 검출 및 해석 방법을 제시하였다. 이 방법은 유도경로에서의 분기지점이나 합류지점과 같은 복잡한 구조의 유도선 부분도 자동으로 분석할 수 있어 AGV 운행경로의 자유로운 설정 및 변경이 가능하다. 따라서 이 방법에 의해 구현된 AGV는 근래의 다품종 소량생산 환경에서 매우 유용하게 활용될 수 있다.

제시된 방법을 상용 AGV에 구현하여 장기간의 실험을 수행함으로써 복잡한 구조의 유도선 경로에서도 유연하면서도 안정적인 운행이 가능함을 알 수 있었으며, 일부 훼손된 유도선 경로에서도 오류 없이 운행이 가능함을 확인하였다. 또한 산업현장의 열악한 철재 바닥 환경에서도 운행이 가능함을 확인하였다. 제시된 방법이 실제 산업현장에 바로 적용할 수 있는 실용적인 것임을 간접적으로 알 수 있다.

제시된 방법에 의한 유도선 추적 AGV의 조향륜은 현재 유도선 위를 계속 쫓아가도록 설계되어 있어, 장기간 운영하게 되면 유도선이 마모되거나 훼손되는 문제점이 있다. 향후에 조향륜이 유도선 위를 빗겨 추적하면서도 안정적으로 운행이 가능한 방법에 대하여 연구할 것이다.

참 고 문 헌

[1] 신석훈, 황태현, 신승아, 노인호, 심주보, 오미

선, 고주영, 심재창, “로봇의 소셜 네트워크 서비스를 위한 프로토콜 및 충돌회피 방법,” 멀티미디어학회논문지, 제15권, 제7호, pp. 931- 940, 2012.

- [2] T. Kawano, M. Hara, and M. Sugisaka, “Generating Target Path for Tracing a Line Before Missing the Traced Line of Dead Angle of Camera,” *IEEE Conf International Joint Conference*, pp. 5286-5289, 2006.
- [3] C. Guosheng, Z. Deguai, X. Gang, and Z. Honbing, “Design and Implementation of Intelligent Tracing Algorithm Based on Machine Vision,” *IEEE Conf Intelligent Information Technology Application*, pp. 697-700, 2009.
- [4] G. Beccari, S. Caselli, F. Zanichelli, and A. Calafiore, “Vision-based Line Tracking and Navigation in Structured Environments,” *IEEE Conf Computational Intelligence in Robotics and Automation*, pp. 406-411, 1997.
- [5] Z.G. Man, W.H. Ye, P. Zhao, P.H. Lou, and T.J. Wu, “Research on RFID and Vision-based AGV Navigation,” *Advanced Materials Research*, Vol. 136, pp. 298-302, 2010.
- [6] 성원구, 변성민, 김민환, “AGV 운행을 위한 비전 기반의 라인 추적 시스템,” 멀티미디어학회 2010년도 추계학술발표논문집, pp. 33-36, 2010.
- [7] G. Dudek and M. Jenkin, *Computational Principles of Mobile Robotics*, Cambridge University Press, Cambridge, 2000.
- [8] C.C. de Wit, B. Siciliano, and G. Bastin, *Theory of Robot Control*, Springer-Verlag, London, 1996.
- [9] R. Hartley and A. Zisserman, *Multiple View Geometry in Computer Vision*, Cambridge University Press, Cambridge, 2003.
- [10] R.C. Gonzalez and R.E. Woods, *Digital Image Processing*, Prentice Hall, New Jersey, 2002.
- [11] Z. Zhang, “Flexible Camera Calibration by Viewing a Plane from Unknown Orientations,” *IEEE International Conference on Computer Vision*, pp. 666-673, 1999.

변 성 민

2003년 부산대학교 정보컴퓨터공학부 공학사
2008년 부산대학교 컴퓨터공학과 공학석사
2008년~현재 부산대학교 컴퓨터공학과 박사과정

관심분야: 카메라 검정, 3차원 복원 및 측정

김 민 환

1988년 서울대학교 컴퓨터공학과 공학박사
1998년~2003년 한국멀티미디어학회 논문지 편집위원장
2004년~2006년 한국멀티미디어학회 부회장

1986년~현재 부산대학교 정보컴퓨터공학부 교수
관심분야: 컴퓨터 시각, 칼라 공학