

CCD 카메라를 이용한 크레인 주행 라인 인식

김정식, 김민섭, 이해규, 노태정, 안병규

삼성중공업 창원연구소

1. 서론

최근 해상 수출입의 물동량 증가에 따라 항만의 역할이 커지고 있으며 항만 규모의 확장은 한정된 영토를 가지고 있는 지역에서는 어려운 일이며, 이에 따라 항만의 합리적인 운용 즉 컨테이너 하역 작업의 합리화, 최적의 Yard 운영 시스템의 Needs가 커지고 있다. 항만 하역 기기의 자동화는 크레인의 자동 운전, 컨테이너의 자동 착탈로 대변될 수 있으며, 특히 RTG 크레인의 운전 자동화는 ATCS(Automatic Travel Control System), 스웨이 방지 장치(Anti-Sway) 및 자동 직진 주행 장치가 핵심이 된다. 자동 직진 주행 장치는 자기 유도선 방식, 자이로스코프(Gyroscope) 방식 등 다양한 방식으로 연구되었으며 현재 자기 유도선 방식이 가장 널리 사용되고 있지만 이 방식은 유도선 매설 공사가 필요하며, 주행 노면의 침하에 따른 유도선 절단이 빈번하고, 주행 노면의 요철에 의해 Sensor 검출 오차가 발생하는 문제점을 지니고 있어 새로운 Automatic steering 방식이 필요하다.

이러한 단점을 보완하여 개발된 방식이 Gyroscope 방식으로 유지, 보수가 간단하고, Yard에 쉽게 설치할 수 있으며 별도의 토목공사가 필요 없으나, Gyroscope 자체의 측정 오차를 주기적으로 보정해 주어야 하는 단점이 있다.

본 논문에서는 CCD 카메라를 사용하여 RTG 크레인의 주행 노면에 표시된 주행 레인을 인식하여 이를 영상 처리 알고리즘에 적용하여 RTG 크레인의 직진 주행에 필요한 크레인의 절대 위치 즉 주행 편차 거리 및 자세 편차각 등을 산출하는 방법을 제시하였다.

2. 시스템 구성

RTG 크레인은 그림 1 에서와 같이 높이 19.3m Span 26.12m로 컨테이너를 포함시켰을 때 170ton의 무게를 갖는 대형 철 구조로 되어 있으며[1] RTG 크레인의 구동은 Hoist와 Trolley와 RTG 크레인 자체의 주행 동작으로 움직이는데 본 논문에서는 RTG 크레인을 자동으로 운전하기 위한 영상 인식을 하고자 하는데 있다.

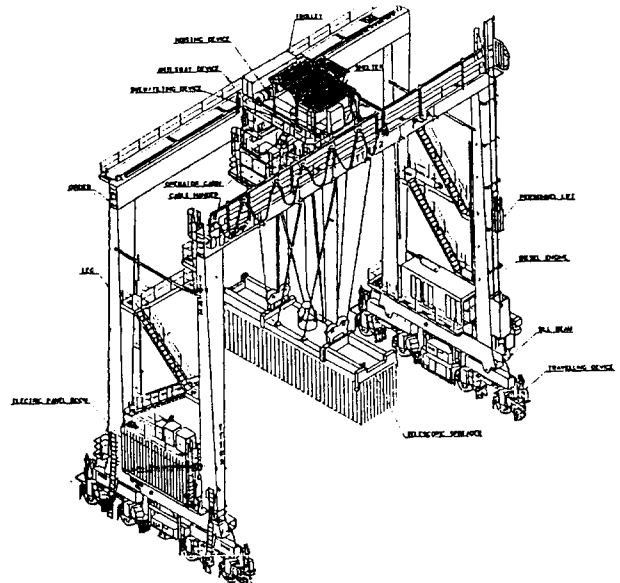
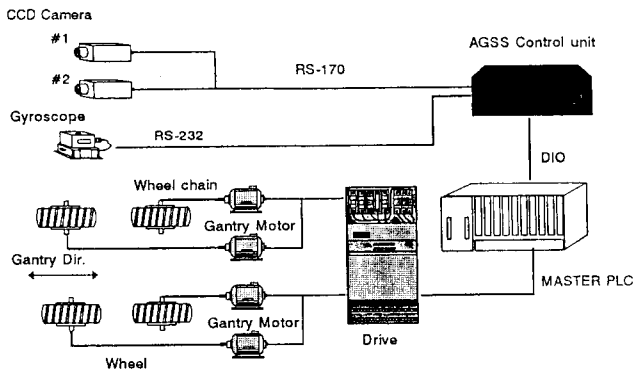


그림 1. RTG 크레인 구조.

크레인 주행 노면 인식을 위한 시스템 구성은 그림 2와 같다. 그림에서 보는 바와 같이 주요 구성 부분은 2개의 CCD 카메라와 이를 제어하고 영상 신호 처리를 하는 컨트롤러이다.



(AGSS: Automatic Gantry Steering System.)

그림 2. 시스템 구성도.

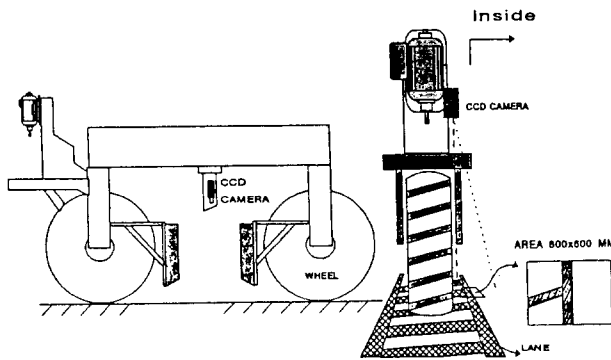


그림 3. CCD 카메라 설치 위치.

롤러로 구성되어 있다.

(1) CCD 카메라

크레인 주행 노면 인식을 위한 두개의 CCD 카메라를 그림 3과 같이 크레인의 전기실 아래 주행 노면에 대해 수직으로 설치하였다. 실험에서 사용된 카메라는 1/2" IT CCD 36만 화소(흑백), 최저 조도 0.2Lux(F1.2 사용)이며, 사용 렌즈로는 자동 조리개 1:1.4 8mm 렌즈를 채용하였다.

결상의 공식에 의해 피사체의 범위는 1/2" CCD의 촬상면적 6.55

mm(H)×4.87mm(V), 피사체와의 거리(L)1700mm, f=8mm일 때 아래와 같이 계산된다. 야간에는 가시광선 영역에 걸쳐 균일한 파장을 갖는 텅스텐-할로겐 Lamp를 사용하였다[6].

$$A = \frac{H \times L}{f}, B = \frac{V \times L}{f}$$

$$A = \frac{6.55 \times 1700}{8} = 1392$$

$$B = \frac{4.87 \times 1700}{8} = 1024$$

본 실험에서는 카메라 위치에 따른 Imaging System의 기울어진 각도에 의한 오차는 실 크레인에 장착 실험의 여건으로 무시하고 크레인 직진 주행에 필요한 영상 신호 처리 알고리즘 및 처리 기법을 논한다.

(2) 영상 처리 보드

프레임 그래버와 그래픽 프로세서 기능이 결합된 가변 공간 분해능(최대 1024×1024), 광역 이득 조정, 연속적인 A/D offset 및 기준 조정을 위한 프로그래머블 Amp가 내장되어 있다.

(3) 제어장치

제어장치와 RTG 크레인의 인터페이스는 그림 4와 같다.

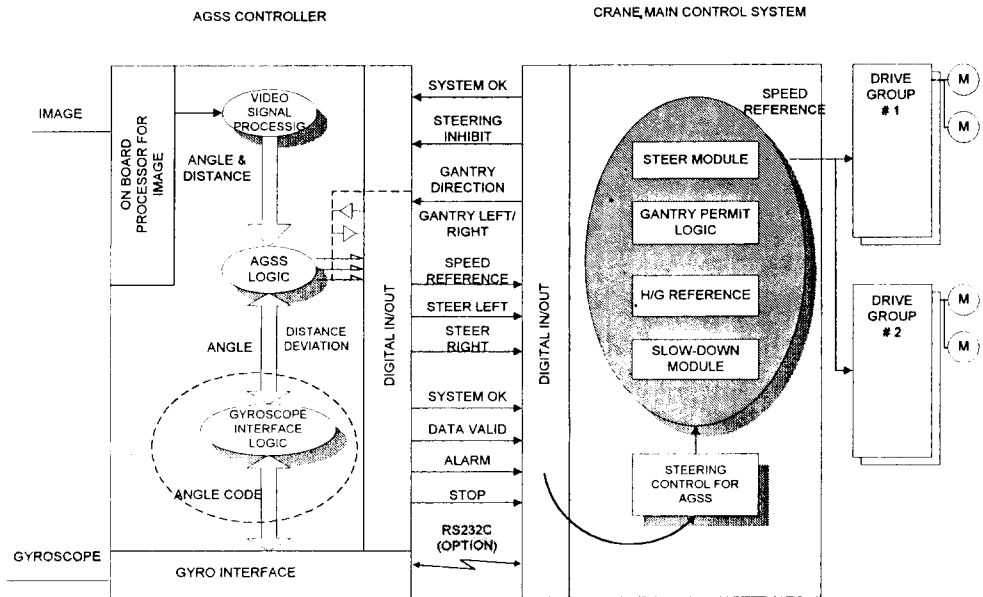


그림 4. 시스템 인터페이스.

3. 영상 신호 처리

영상에서의 화소 밝기는 물체 표면의 반사도 조명 상태 등에 의해 결정된다. 일반적으로 실내의 고정되어 있는 환경에서의 조명 조건은 대상 물체와 배경의 구별이 뚜렷하게 조명 환경이 설정된다. 그러나 본 실험과 같은 야외에서의 주행 노면 인식은 주행 Yard상의 레인은 조도의 변화가 다양하다.(강한 태양광과 짙은 그림자, 일기 변화, 노면의 난반사, 크레인에 의해 발생하는 그림자등) 이와 같은 환경에서 비교적 둔감한 조도 변화의 특성을 얻기 위한 방법이 본 논문에서 제안되었다.

3.1. 전 처리 방법

3-1-1. Histogram equalization (Highlight Compression)

실험에 사용된 카메라의 자동 조리개 렌즈는 콘트라스트가 넓은 범위에 대해서 대응 가능하기 위한 평균측광 방식으로 되어 있다. 약한 조도에서는 조리개 개방 및 AGC 기능으로 화상 신호가 평균 레벨을 유지하지만 주간의 태양광의 강렬한(6500 °K Daylight 이상) 조도에서는 조리개가 최대로 닫혔을 때도 영상 신호의 평균 레벨이 상승된다. 이와 같은 이유로 넓은 콘트라스트를 갖는 평균측광 방식에서는 조도에 대응하여 적절한 임계값을 구하기가 어렵다. 이를 해결하기 위해 본 논문에서는 사용한 Histogram equalization은 화상 신호 레벨이 설정된 피크점 보다 높을 때 피크 레벨을 피크점에 맞추며 이는 Highlight(과대광)를 compression 하며 그 동작점이 그림 5의 Knee점이다.

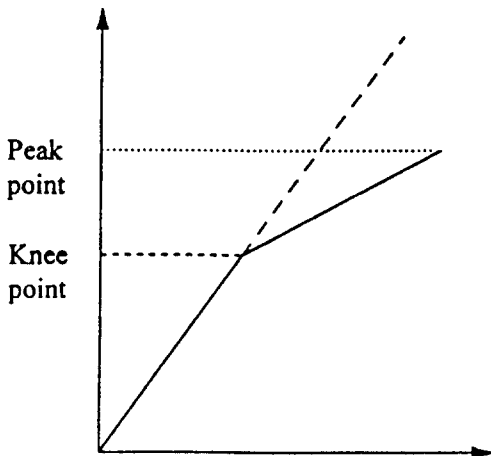


그림 5. 히스토그램.

3-1-2. Histogram 영역 선택

선형적으로 양자화된 원 영상의 히스토그램(Histogram)은 영상의 조명 상태에 따라 치우쳐 있으므로 히스토그램 수정은 대상 물체 및 조명 상태에 따라서 적응적으로 설정

되어야 한다. 그러나 전술한 환경에서는 주행 레인 인식은 시간적으로 변화하는 조명 상태나 주행 Yard 그림자로 인한 오차는 기존의 방법으로는 어렵다. 이를 위해 제안된 방법이 영역 선택하는 방법과 다음절의 가변 임계치 설정이며 먼저 히스토그램 영역 선택은 조명이 Yard에 비치는 특성을 이용한 것이다.

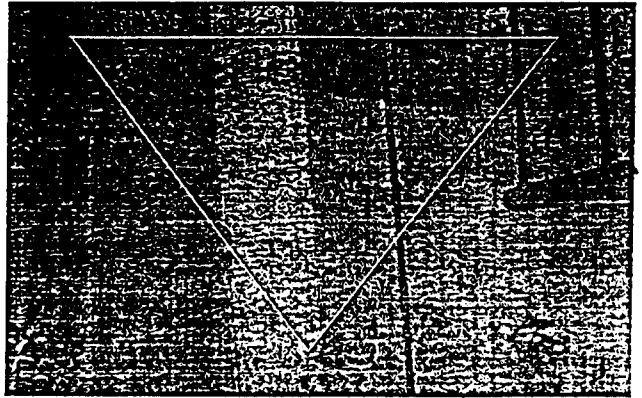


그림 6. 히스토그램 영역 선택.

3-1-3. 가변 임계치 레벨

Histogram 영역 gating에 의해 구해진 임계치에서도 그림자로 인해 발생하는 임계치 설정의 Error가 존재하며 이를 해결하기 위해 제안된 방법이 그림 7이다. 그림에서 A 부분의 임계치에는 Δ 가 가산되고 B 부분의 임계치에는 Δ 가 감산된다.

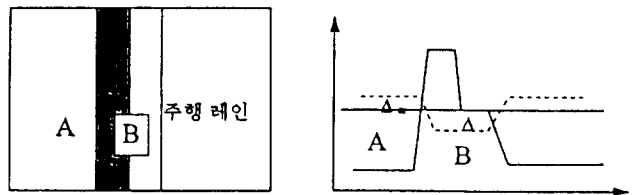


그림 7. 제안된 임계치 레벨.

3-2. 형태론적 Filter

G.Matheron에 의하여 처음 제안된 집합론에 근거하여 영상을 하나의 집합체로 간주하는 수리 형태학은 다음과 같은 장점이 있다. (1) 기존의 알고리즘 대비 주변 환경 적응성이 양호, (2) 국부 잡음의 영향을 최소화, (3) 화상의 기하학적 형태를 주 분석 요소로 하기 때문에, 형태소(structuring element)를 적절히 선택함에 따라 화상내 물체의 형태의 특징을 잘 보존하면서 영상 처리를 할 수 있다[2], [3].

형태론적 필터들에 대한 정의 및 물리적 의미는 다음과 같다. 가장 기본적인 두 가지 형태론적 필터는 수축(Erosion) 및 팽창(Dilation)이다. 이진 영상에서 팽창은 어떤 화소부근에 하나라도 1 이 있으면 그 화소를 1로 하고 그

외는 0으로, 수축은 어떤 화소 부근에 하나라도 0이 있으면 그 화소를 0으로, 그 외는 1로 처리한다.

대부분의 형태론적 필터는 이들의 조합으로 구성되며 대표적인 것은 AF(Alternating Filter)와 ASF(Alternating Sequential Filter)이다[3]. AF는 열림(Opening)과 닫힘(Closing)이 순서대로 한번만 처리되는 경우이고, 이때 창 크기는 일정하고 변하지 않는다. 반면에 ASF는 열림과 닫힘이 창 크기가 증가하면서 열림-닫힘의 Filtering 되는 과정이다.

N 차원 입력 신호를 x_i 로, N 차원의 창(Window) 또는 평탄 형태소(Flat Structuring Element)를 W_n 으로 정의한다면, W_n 에 의한 x_i 의 수축과 팽창은 각각 $E_n(x_i)$, $D_n(x_i)$ 로 정의된다.

$$\text{수축(Erosion)} \quad E = X \ominus B \quad E_n(x_i) = \text{Min}\{x_i + k, k \in W_n\} \leq x_i$$

$$\text{팽창(Dilation)} \quad D = X \oplus B \quad D_n(x_i) = \text{Max}\{x_i - k, k \in W_n\} \geq x_i$$

수축과 팽창은 형태소 W_n 안에 있는 값들을 순차적으로 정리하여 최소/최대값을 취하는 연산자이다. 이때 한편 평탄 형태소 W_n 의 크기는 1 차원($N=1$)인 경우에는 $(2n+1)$, 2차원인 경우에는 $(2n+1) \times (2n+1)$ 이다.

이러한 수축/팽창은 주위보다 상대적으로 밝은 부분을 축소 및 확장시키는 역할을 한다.

3.3 Edge Tracing

모폴로지컬 필터로 처리된 영상에서 주행에 필요한 Edge를 찾아내기 위해 Chain Code[2]를 사용하며 그 형태는 그림 8과 같다.

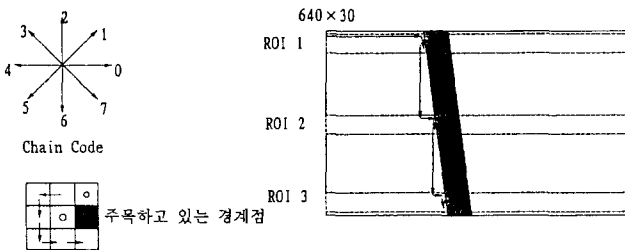


그림 8. 경계점 검색.

Chain Code는 경계부의 연결성을 찾는데 사용되어 진다. [4] 실험에서는 주행 레인의 특성상 이를 변형하여 계산량을 줄이기 위해 변형된 Chain Code로 경계부를 추적하며 8방향 Chain Code로 고립점이 아님이 판명되면 1,2,3,4 방향으로의 Tracing을 하지 않는다. 경계부의 추적 방법은 다음과 같다.

1) 화상을 주사하고 추적 마크가 붙어 있지 않는 경계점

T_0 를 찾는다.

- 2) T_0 근방이 모두 0 일 때는 T_0 를 고립점으로 하고 추적을 종료한다.
- 3) 그 이외 일 때는 그림 8 Chain code의 반시계 방향으로 다음 경계점을 찾고, 이하 같은 방법으로 차례로 경계점을 추적해 간다.
- 4) 다음의 경계점이 T_0 의 개수가 20이하이면 Error code를 부여한다.

3.4 Line Fitting

Edge Tracing에 의해 얻어진 데이터에는 크레인의 진동으로 영상 인식 오차가 포함되어 있다. 이를 최소화하기 위해 그림 8의 ROI 1,2,3 영역에서 각기 찾아진 Edge를 최소자승 오차법으로 구한다.

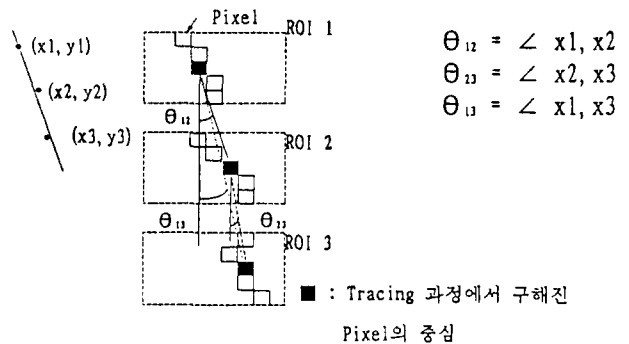


그림 9. Line fitting.

4. 주행 거리 편차

영상 신호에서 구해진 편차 거리와 편차 각을 연산하여 Steering 방향과 Steering reference를 결정한다.

1) 편차각

$$\sin\theta = \Delta L / \Delta D \quad (1)$$

ΔL : 엔진측과 전기실측의 속도 차에 따른 주행 거리 편차

D : Span

$$(1) \text{은 } \theta = \sin^{-1}(\Delta L / D) \quad (2)$$

거리 L은 속도를 시간에 대해 적분한 것으로

$$L = \int V dt \quad (3)$$

편차각은 (3)을 (2)에 대입하면

$$\theta = \sin^{-1}(1/D \times (\int V dt)) = VT/D \quad (4)$$

T : Time

2) 편차 거리

$$X = L \sin\theta \quad X : \text{주행 편차 거리}, L : \text{주행 거리} \quad (5)$$

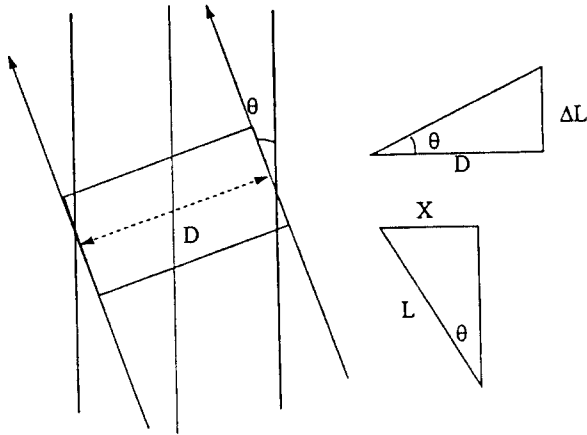


그림 10. 크레인 절대 위치 산출.

5. 실험 및 고찰

Yard의 상태는 시멘트에 흰 색 페인트가 칠 해져 있는 상태로 페인트 상태는 훼손 정도가 많았다. 정오의 Yard의 시멘트와 흰 색 페인트의 반사는 2 Stop의 차이가 났다. 주간의 다양한 조명 변화에 대해서는 자동 조리개 8mm 렌즈를 사용하였다. 실험에서 구현해야 하는 주행 라인 인식 정도는 $\pm 40\text{mm}$ (편차각: 4°), 크레인의 최대 속도는 90m/

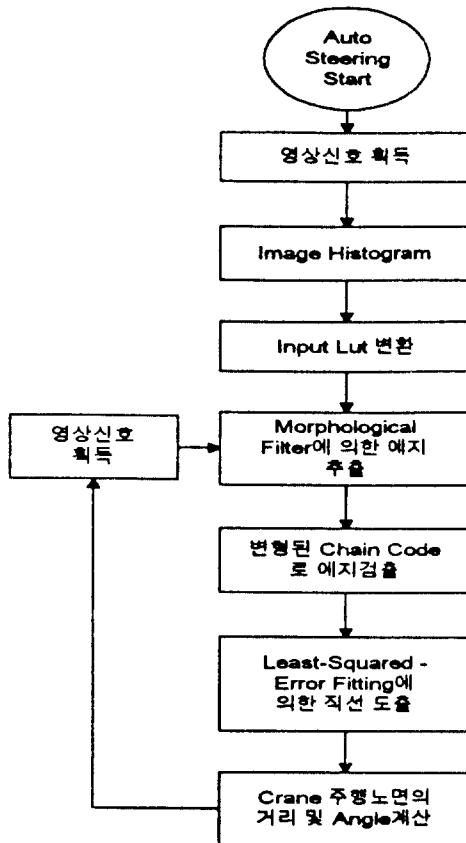


그림 11. 영상 신호 처리 순서.

min 으로 목표로 하였다.

실제의 실험은 부산항(신선대)의 상용 운전 중인 RTG 크레인에 장착하였고, 이 때의 이미지는 $800 \times 600\text{mm}$, CCD 카메라의 설치 위치는 1m로 하여 이미지를 640×480 픽셀로 구성하였다.

5.1 Image 처리

자동 주행을 위한 전체적인 영상 처리 순서는 그림 11과 같다.

영상 처리 알고리즘은 프레임 그래버에서 읽어 들이는 영상 획득부, 히스토그램에 의해 화상을 변환하는 전처리부, 경계를 검출 및 처리하는, 신호처리부로 나눌 수 있다.

히스토그램 영역 선택으로 화상의 임계치를 구하는 방법이, 조도 변화에 둔감한 특성을 얻을 수 있었다.

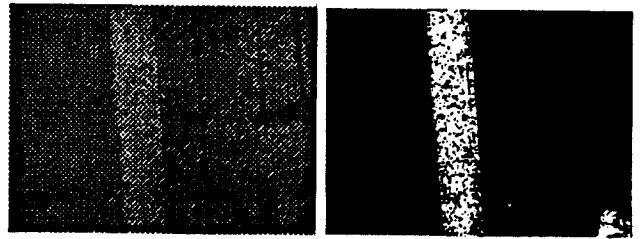


그림 12.a 원 화상.

그림 12.b 2차 화상.

그림 12.a는 크레인에서 수직으로 주행 yard를 잡은 Raw Data 영상으로 시멘트 바닥에 흰 페인트의 노면이 약 20cm의 폭이다. 그림 12.b는 히스토그램 영역을 gating하여 얻은 임계값으로 화상을 2차 레벨로 변형한 화상이며, 그림 12.c-d는 형태론적 필터로 처리한 그림들이다. 그림 12.b의 과정에서 구해진 임계값은 화상 처리 보드의 Input LUT (Look Up Table)을 변경하는데 사용되어 그레이 화상을 이진 화상으로 화상 메모리에 읽어 들인다. 그림 12.a에서 흰 색 라인 속의 검은 점들은 노면의 거침으로 인한 그림자와 모래, 페인트가 벗겨져 나간 것들이다. 이러한 불필요 잡음은 그림 12.c의 Light-Dilation 처리로 제거가 가능하며, 시멘트 상의 반사등에 발생하는 백색 잡음은 그림 12.d와 유사한 Light-Erosion에 의해 제거 가능하다.

위의 기본 필터를 사용하여 그림 10의 순서로 ROI영역에서만 처리하여 크레인 주행에 필요한 Edge를 구하는데 계산량을 줄인다.

구해진 Edge 데이터가 유효한 값인지 판단하기 위하여 Edge Tracing하여 연결점이 20개 이상인 점들의 중심을 각각의 ROI에서 구해진 주행 라인의 유효 데이터로 처리한다.

그림.13은 위의 과정에서 구해진 유효한 데이터를 float-ing한 것이며, 라인의 페인트 손상에 대한 오차를 줄이기 위해 처리한 것이 그림 14와 그림 15이다. 그림 14는 그림

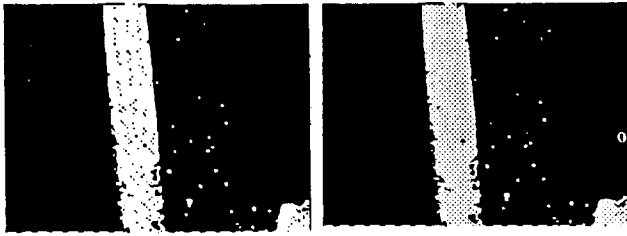


그림 12.c 배경의 잡음이 제거된 화상.

그림 12.d 레인의 잡음 제거된 화상.

13의 데이터를 Moving Average 하여 Smoothing 처리된 그림이다. 그림 15는 최소 자승 오차에 의한 Line Fitting을 실시한 데이터를 나타낸 그림이다. 그림 14와 그림 15를 비교해 보면 편차각을 고려 해볼 때 그림 14에서는 87sec(145×600msec)에서 108sec(180×600msec)구간까

지에는 ROI 1 과 ROI 2의 위치가 바뀌어 있다. 반면에 그림 15는 크레인 가속 구간에서는 심한 진동으로 편차 거리에는 오차가 있으나 편차각은 일정한 추세로 데이터가 얻어지고 108sec(180×600msec)이후에는 안정적인 값을 얻을 수 있었다.

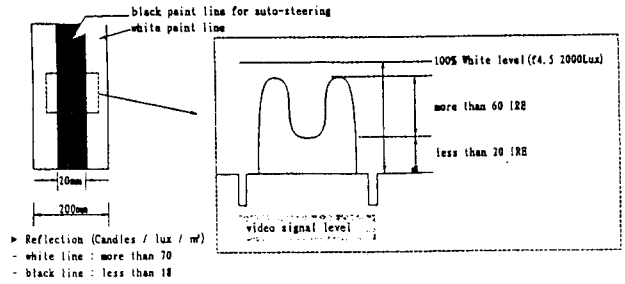


그림 13. 제안된 주행 레인.

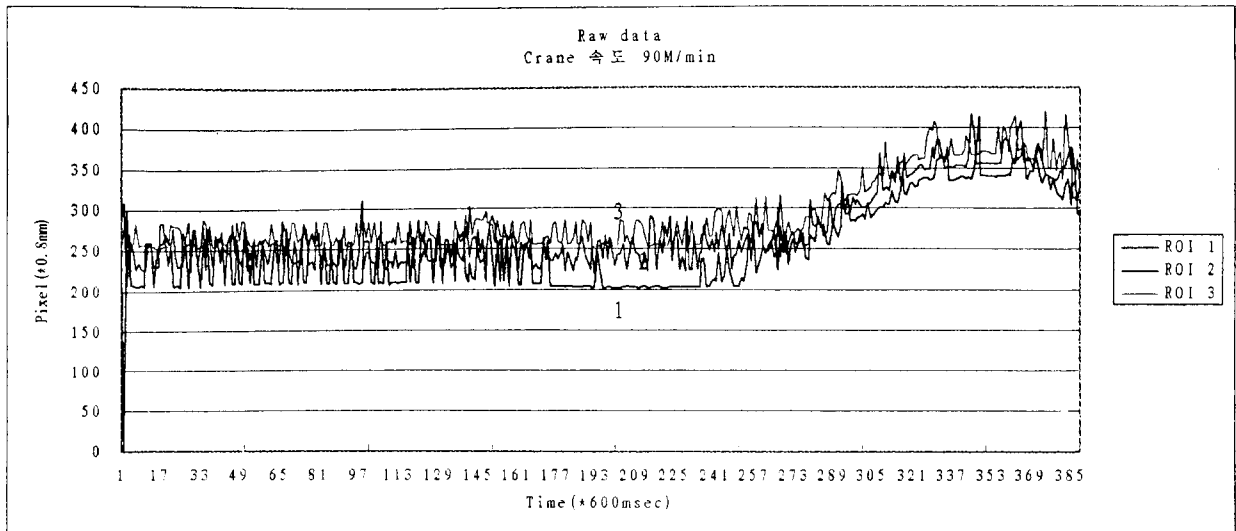


그림 14. Raw data.

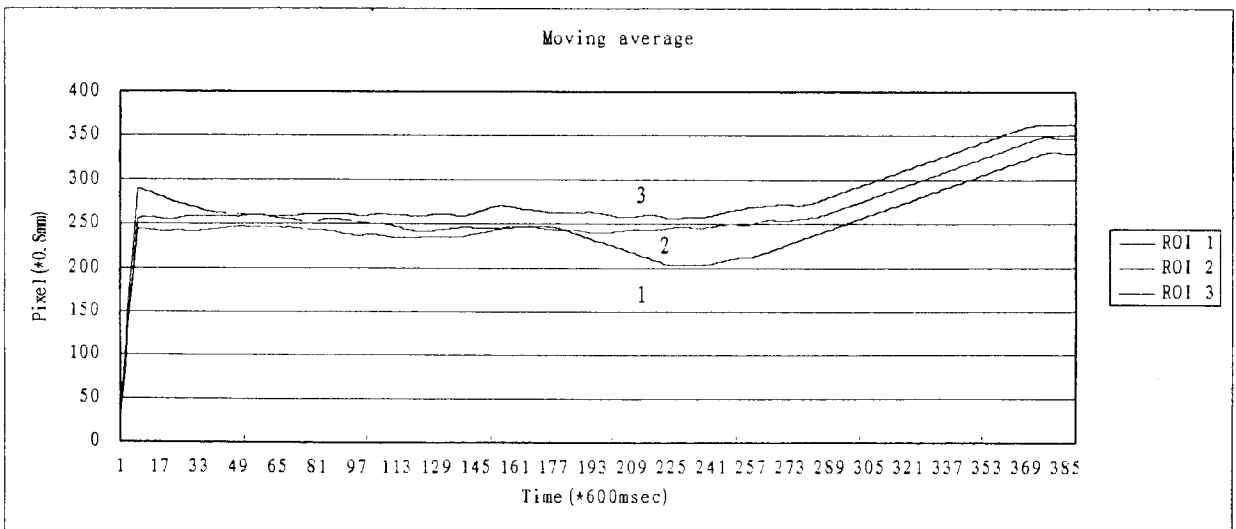


그림 15. Moving average.

6. 결 론

CCD 카메라를 이용한 RTG 크레인의 주행 라인 인식을 위해 영상 처리의 전처리 방법에서 히스토그램 영역 선택 방법과 가변 임계치 설정 방법을 제시하였으며, 실제 테스트를 통해 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) RTG 크레인의 주행 라인 인식에는 형태론적 필터가 성능이 우수함을 확인하였다.
- 2) 영상 신호 처리된 Raw Data Processing의 오차를 줄이는 데는 최소 자승에 의한 Line Fitting이 Moving

Average보다 효과적임을 보였다.

- 3) 화상신호 전처리의 과대광 제거 및 히스토그램 영역 선택 결과 불 균일한 광원에서 최적의 임계값을 산출할 수 있었다.
- 4) 실제 테스트를 통해 크레인 자동 주행에 적합한 라인

의 구성을 얻을 수 있었으며 그림 13과 같다.
향후 크레인 진행 방향에 따라 변화되는 조도에도 적응적인 처리가 가능하도록 히스토그램 Auto-gating에 관한 연구가 계속되어야 하고, 일기 변화 및 크레인 진동에 의한 오차를 줄이는 방안도 검토되어야 한다.

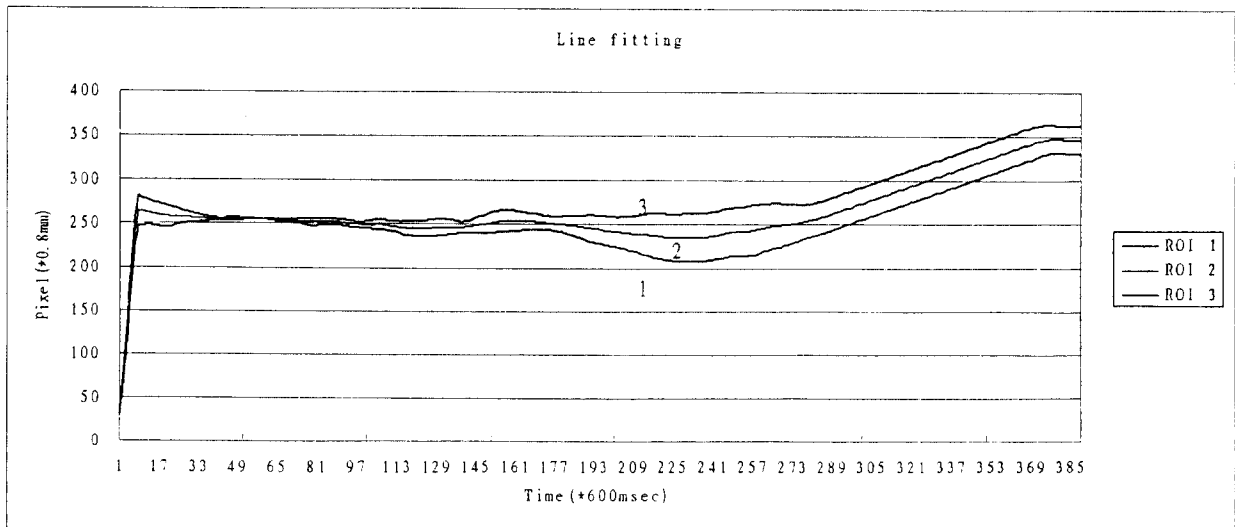


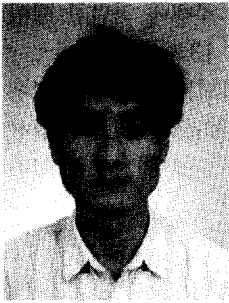
그림 16. Line fitting.

참 고 문 헌

Engineer's Reference Book", Studio Lighting and Control, part 7/34, 1991.

- [1] 김영배, 안병규, 안승욱, "Rubber Tyre식 Transfer Crane의 Auto Steering Control(삼성중공업 연구논문)", 1993.
- [2] D. Schonfeld and J.Goutsias, "Optimal morphological pattern restoration from noisy binary images", IEEE Trans. Pattern Analysis and Machine Intelligence, Vol.13,no. 1, pp. 14-29, Jan. 1991.
- [3] Rafael C. Gonzalez and Paul Wintz, "Digital Image Processing",Representation and Description, pp. 391-404, Nov. 1987.
- [4] William K. Pratt. "Digital Image Processing", Morphological Image Processing, pp. 449-489, 1991.
- [5] 吹抜敬彦, "画像の デジタル 信號處理", 2値画像 信號處理, pp. 229-241, 1984.
- [6] K. G. Jackson and G. B. Townsend, "TV & Video

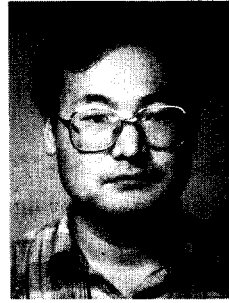
저 자 소 개



김 정 식

1965년 1월 1일생
1990 경북대학교 전자공학과 졸업
(학사) 1990~1993년 9월 삼성전
자 종합연구소 근무 1993년~현재
삼성중공업 메카트로개발1팀 근무
경남 창원시 웅남동 40-1 창원연구
소 메카트로개발1팀.

TEL)(0551) 60-8246 / FAX)(0551) 60-8228



노 태 정

1958년 9월 27일생
1984년 부산대학교 기계설계학과 졸
업(학사) 1986년 한국과학기술원
생산공학과 졸업(석사) 1992년 한
국과학기술원 정밀공학과 졸업(박
사) 1986~현재 삼성중공업 창원연
구소 메카트로개발1팀장

경남 창원시 웅남동 40-1 창원연구소 메카트로개발1팀.

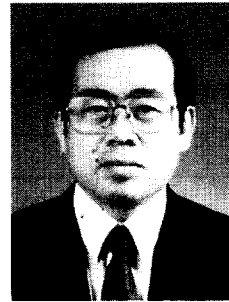
TEL)(0551) 60-8235 / FAX)(0551) 60-8228

김 민 섭

1965년 2월 6일생
1990 한양대학교 전자공학과 졸업
(학사) 1990~현재 삼성중공업 창
원연구소 메카트로개발1팀 근무
경남 창원시 웅남동 40-1 창원연구
소 메카트로개발1팀.

TEL)(0551) 60-8244 /

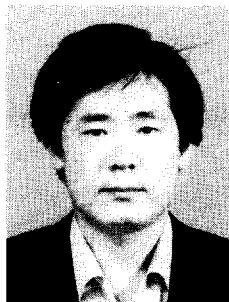
FAX)(0551) 60-8228



안 병 규

1950년 7월 29일생
1975 서울대학교 전자공학과 졸업
(학사) 1978~현재 삼성중공업 창
원연구소장 및 메카트로개발 센터장
겸임
경남 창원시 웅남동 40-1 창원연구
소.

TEL)(0551) 60-8201



이 해 규

1957년 7월 14일생
1983년 성균관대학교 전기공학과 졸
업(학사) 1983~현재 삼성중공업
메카트로개발1팀 근무

TEL)(0551) 60-8237 / FAX)

(0551) 60-8228.