

# OpenCL 기반의 그래디언트 라돈변환을 이용한 만화영상의 정규화

김 동 근<sup>†</sup> · 전 혁 준<sup>\*\*</sup> · 황 치 정<sup>\*\*\*</sup>

## 요 약

디지털 만화영상은 인터넷에서 매우 인기 있는 콘텐츠이다. 일반적으로 디지털 만화영상은 디지털 스캐너에 의해 스캔되며, 후처리를 하지 않으면 서로 다른 크기와 기울어짐을 가질 수 있으며, 경계부분에 내용이외의 여백이 있을 수 있다. 기울어짐과 여백이 없이 영상의 내용의 크기를 정규화하는 것은 내용기반 만화영상 검색과 같은 응용에서 매우 중요한 단계이다. 본 논문에서는 그래디언트 라돈변환을 사용하여 검출한 선분을 이용하여 만화영상의 박스 프레임의 검출하는 방법을 제안한다.

만화영상에서 박스프레임은 여백이 없는 만화영상 내용으로 이루어진 최대 사각영역이다. 만화영상의 크기를 정규화하고, 기울어짐을 없애기 위하여 박스 프레임을 사용하고, 선분 검출 속도를 높이기 위하여 OpenCL로 구현하였다. 제안 방법이 만화영상에서 효과적으로 박스 프레임을 검출함을 실험으로 보였다.

키워드 : Radon Transform, OpenCL, Comic Image

## Comic Image Normalization using the gradient Radon Transform based on OpenCL implementation

Dongkeun Kim<sup>†</sup> · Hyeokjune Jeon<sup>\*\*</sup> · Chijung Hwang<sup>\*\*\*</sup>

## ABSTRACT

Digital comic images are one of popular contents on the Internet. Usually, they are scanned from comic books by digital scanners. Without post-processing, they may have different sizes, skews and margins other than contents at the boundary. To normalize the size of their contents without the skews and margins is an important step in comic image analysis and application such as content-based comic image retrieval system. In this paper, we propose a method to detect a box frame in comic images by extracting of line segments using the gradient Radon transform. The box frame in comic images is the maximum rectangle which consists of contents without margins. We use the detected box frame to normalize the size of comic images and to make them no skew. In addition, the proposed method is implemented by OpenCL to speed up the detection of the line segments. Experimental results show that our proposed method effectively detects the box frame in comic images.

Keywords : Radon Transform, OpenCL, Comic Image

## 1. 서 론

만화는 매우 인기 있는 디지털 콘텐츠 중에 하나이다. 대부분의 디지털 만화 콘텐츠는 기존에 종이에 인쇄된 일반 만화를 스캐너를 이용하여 디지털 영상 파일로 변환된 것이다. 스캔된 만화 영상은 스캐닝 과정에서 기울어짐이 발생

하고 만화의 내용외의 여백이 추가될 수 있으며, 영상의 크기가 서로 다르게 되어 있는 등 정규화 되어 있지 않기 때문에 콘텐츠 기반 만화영상 검색 시스템 같은 만화 영상처리 및 서비스에서 어려움이 발생한다. 만화영상의 기울기를 보정하고, 여백을 제거하고, 고정크기로 정규화하면 만화영상으로부터 특징을 추출하기 쉬우며 만화영상의 검색과 같은 영상처리에서 장점을 갖는다. 만화영상은 대부분 사각형 박스를 이용하여 내용을 배치하고, 만화의 내용은 각각의 작은 사각형으로 구분되어 있으며, 만화내용을 담고 있는 전체적인 구조 역시 박스 프레임으로 되어 있다. 본 논문에서는 이러한 박스 프레임을 자동으로 검출하여 기울어짐을

<sup>†</sup> 종신회원 : 공주대학교 컴퓨터공학부 부교수  
<sup>\*\*</sup> 정 회 원 : 한국항공우주연구원 선임연구원  
<sup>\*\*\*</sup> 종신회원 : 충남대학교 컴퓨터공학과 교수(교신저자)  
논문접수 : 2011년 2월 21일  
수 정 일 : 1차 2011년 5월 25일  
심사완료 : 2011년 5월 25일

보정하고, 만화영상의 내용만을 포함한 영상을 고정된 크기로 정규화하는 방법을 제시한다.

기존의 만화 콘텐츠를 서비스하기 위한 연구로 Yamada[1] 등은 만화영상에서 여백인 흰색 영역을 추적하는 방법으로 만화영상 내부의 작은 사각 영역을 검출하였다. 사각형 사이에 말풍선 등이 있을 때는 사각영역을 검출하지 못하며, 영상의 기울어짐을 고려하고 있지 않고 있다. Kenji[2] 등은 만화영상을 DDA(digital differential analyzer) 직선 알고리즘을 이용하여 직선 위의 화소에서 영상 그래디언트를 누적하고, 여백과 트리 구조를 이용하여 만화영상을 분석하였다. 이러한 방법은 만화영상의 직선 성분을 효율적으로 이용한 반면, DDA 알고리즘을 이용하여 모든 방향의 직선을 생성한 후에 직선상의 화소의 그래디언트를 누적시키는 방법은 효율적이지 못하며, 또한 내부의 컷을 나누는 방법만을 다루고 있으며, 만화영상의 박스 프레임 검출을 다루지 않고 있다. 한은정[3] 등은 다층신경망을 이용하여 만화영상의 내부 컷 프레임을 사각형으로 분할하는 방법으로, 다층신경망의 입력으로 X-Y 프로파일을 사용하고, 프로파일에서의 분할위치를 다층신경망을 사용하여 계산하였다. X-Y 프로파일을 사용한 방법은 처리속도가 빠른 반면, 기울어진 문서영상에서는 적용할 수 없다.

일반적으로 만화 영상은 에지 및 직선성분을 많이 포함하고 있다. 영상처리 및 컴퓨터 비전에서 직선검출을 위해 일반적으로 허프변환을 사용한다[4]. 김동근[5] 등은 그래디언트를 이용하여 라인의 방향을 결정하여 라돈공간으로 매핑하는 방법으로 라돈 변환의 계산시간을 줄였으며, 후처리과정을 통하여 영상공간에서 라인을 추적하여 선분(line segments)을 검출하였다. 본 논문에서는 계산속도를 높이기 위하여 그래디언트 라돈 변환을 범용 병렬처리 프로그래밍 언어인 OpenCL로 구현한다. 만화영상에서 선분을 검출하고, 검출된 선분을 이용하여 만화영상의 내용만을 포함하는 전체 구조인 프레임 박스를 검출한다. 이를 이용하여, 만화영상을 기울어짐이 없는 정규화된 고정크기의 영상으로 변환하는 방법을 제시한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 관련연구로 허프(Hough)변환과 라돈(Radon) 변환에 대하여 설명하고, 3장에서는 제안된 그래디언트(gradient) 라돈 변환을 이용한 박스 프레임 검출, 박스 프레임의 호모래피 변환에 의한 고정크기로의 정규화, 선분검출 속도를 개선하기 위한 OpenCL 구현에 대하여 설명한다. 4장에서는 제안된 방법을 구현한 실험 결과를 분석하고, 5장에서는 결론과 향후 연구 방향에 대하여 기술한다.

## 2. 관련 연구

### 2.1 라돈 및 허프 변환

영상처리 및 컴퓨터 비전에서 영상의 직선 특징 검출을 위한 변환으로 허프(Hough) 변환과 라돈(Radon) 변환이 있다. 허프 변환은 에지 검출 등에 의한 이진영상에서 각 화

소를 지나가는 모든 직선의  $(\rho, \theta)$ 를 계산하여 이에 대응하는 허프공간에 1씩 값을 누적시키고, 최종적으로 허프공간에서 지역 극값을 검출하는 방법으로 직선을 검출한다[6, 7]. 허프공간에서의 누적된 값은 해당 직선위의 화소의 개수이다. 이와 유사하게 라돈 변환은 2차원 좌표계의 영상을 선적분하여  $(\rho, \theta)$ 로 표현되는 라돈 공간에 누적시킨다[8-11]. 라돈 공간은 모든 방향에 대하여 프로젝션 프로파일을 생성한 것과 같다. 라돈역변환은 의료영상처리에서 단층사진을 재구성하기 위해 주로 사용된다. 라돈변환은 일반적으로 1씩 누적시키지 않고 해당 영상의 화소 값을 누적시키는 것 이외에는 허프변환과 개념적으로 동일하다. 2차원 영상  $f(x, y)$ 에 대한 라돈 변환은 식(1)과 같다.

$$\iint_{-\infty}^{\infty} f(x, y) \delta(x \cos \theta + y \sin \theta - \rho) dx dy \quad (1)$$

$$\begin{aligned} -\infty < x, y < \infty \\ -\infty < \rho < \infty \\ 0 \leq \theta < \pi \end{aligned}$$

2차원에서의 직선성분은 라돈 공간상에서 하나의 점으로 표현되며 직선의 특성이 강할수록 라돈 공간에서 높은 값을 갖는다. 허프변환과 라돈변환은 기본 변환과정은 유사하며, 변환공간에서 누적되는 값이 차이가 있다. 허프변환과 라돈변환은 모두 화소에서의 일정간격의 모든 방향( $\theta$ )의 직선에 대한 원점에서의 수직거리( $\rho$ )를 계산하여 허프 및 라돈변환 공간에 누적한다. 이러한 계산은 계산속도가 늦을 뿐만 아니라 에지정보가 많은 만화영상에서 직선성분을 너무 많이 찾을 수 있다. 또한 허프 및 라돈변환 공간에서 지역극값은 직선의 파라미터  $(\rho, \theta)$  만을 검출할 뿐, 선분을 검출하기 위해서는 후처리가 필요하다.

### 2.2 변형된 허프 변환

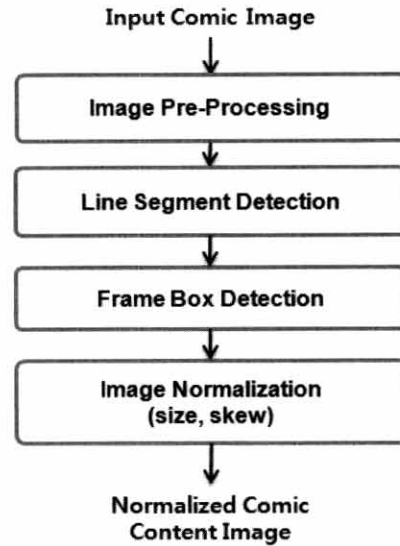
전통적인 허프 변환을 개선한 대표적인 방법으로 확률적(probabilistic) 허프변환[12-13], 랜덤화된(RHT: randomized Hough transform)[14], 그래디언트를 이용한 허프변환[15] 등의 다양한 방법들이 있다. 소스가 공개된 영상처리 및 컴퓨터 비전 라이브러리인 OpenCV에 구현된 확률적 허프변환[16,17]은 허프공간에서 지역극값이 많이 검출되는 단점을 극복하기 위하여, 처리할 모든 데이터를 배열에 수집한 후에, 랜덤 샘플링한 순서로 허프공간으로 변환한다. 랜덤 샘플링한 데이터  $(x_0, y_0)$ 에 대하여 허프공간으로 변환할 때, 허프공간 내에서 누적 값이 가장 큰 파라미터를 찾고, 임계값 이상의 강한 직선이면  $(x_0, y_0)$ 을 기준으로 양 방향으로 직선 위의 좌표를 직선 알고리즘을 이용하여 방문하면서, 간격을 고려하여 선분을 검출한다. 이때 처리한 데이터에 대한 마스크를 관리가 필요하며, 허프공간에서 해당 데이터 점으로 인해 누적된 값을 제거해야한다. RHT를 이용한 직선 검출은 랜덤하게 샘플링한 2개의 데이터 점을 이용하여 직선의 방정식의 파라미터를 계산하여 해당 허프공간에 매

핑하는 방법을 사용한다. RHT는 잡음이 많은 데이터에서 효율적으로 직선을 검출하지만 샘플링 방법을 적절히 하여야 원하는 모든 직선을 검출할 수 있다. 그래디언트를 이용한 허프변환은 영상의 그래디언트에 수직인 방향에 대해서만 허프공간으로 변환하여 직선을 검출한다. 위의 방법들은 각 영상의 데이터 점을 지나는 모든 직선에 대한 허프공간을 처리하지 않으며, 제한된 직선에 해당하는 허프공간만을 처리하여 허프공간에서의 유용하지 않은 직선의 개수를 감소시키고, 계산 속도를 증가시켰다.

본 논문에서는 라돈변환에서 미분 연산자에 의해 계산된 그래디언트의 방향을 이용하여 직선의 방향( $\theta$ )를 계산하며, 후처리과정을 통하여 선분검출을 수행하는 방법을 OpenCL[18, 19]로 구현하였다. OpenCL(Open Computing Language)은 컴퓨터 내에 있는 다수의 CPU 또는 GPU 등의 이기종 프로세서를 이용하여 병렬 응용 프로그래밍을 작성할 수 있는 개방형 범용 병렬 컴퓨팅 프레임워크이다. 제안된 OpenCL 기반의 그래디언트 라돈변환을 이용하여 만화영상에서 선분검출과 검출된 선분을 이용한 박스 프레임 검출을 통하여 만화영상을 기울어짐이 없는 정규화된 크기의 영상으로 변환하는 방법을 제시한다.

### 3. 제안된 만화영상의 정규화를 위한 OpenCL 기반의 그래디언트 라돈변환

제안된 그래디언트 라돈변환을 이용한 만화영상의 정규화 과정은 (그림 1)과 같이 4단계로 수행한다. 단계 1은 전처리 단계로, 입력 만화영상의 밝기를 정규화하고, 잡음제거를 위해 가우시안 필터로 스무딩 연산을 적용한다. 영상의 밝기 정규화는 영상의 히스토그램에서 가장 작은 값(minVal)과 가장 큰 값(maxVal)을 이용하여 [0, 1]로 선형 변환한다. 단계 2는 선분검출 단계로 그래디언트를 이용한 라돈 변환을

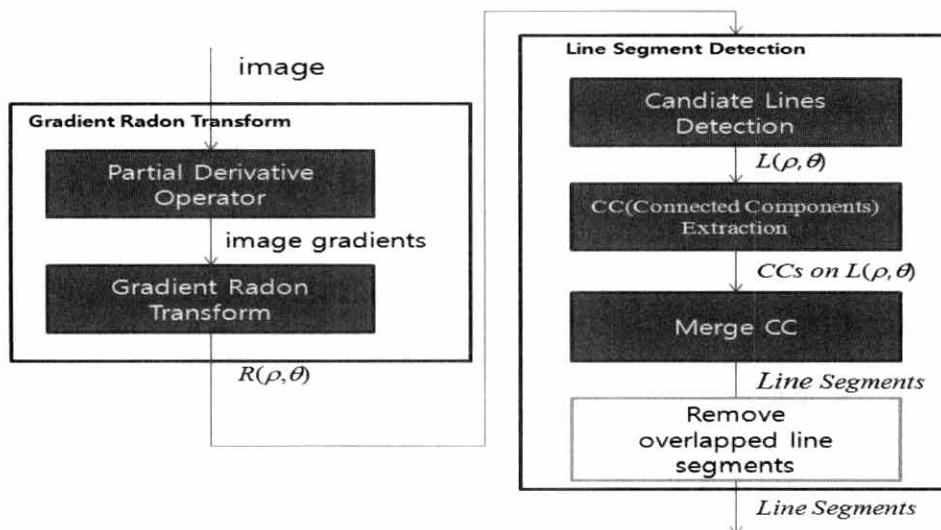


(그림 1) 만화영상의 정규화 과정

수행하고 라돈 공간에서 임계값 이상의 지역 극값(local maxima)을 찾아 직선을 검출하며, 각 직선위의 화소를 영상공간에서 추적하여 선분을 검출한다. 단계 3은 검출된 선분을 이용하여 만화영상의 내용만을 포함한 박스 프레임을 검출한다. 단계 4는 영상을 정규화과정으로 검출된 박스 프레임을 이용하여 호모그래피 변환을 계산하여 영상의 기울어짐을 보정하고, 만화영상을 지정된 고정크기로 스케일링하여 정규화 한다.

#### 3.1 그래디언트 라돈변환을 이용한 선분 검출

본 논문에서는 기존연구 [5]와 같이 그래디언트를 이용한 허프변환과 같이 영상의 그래디언트에 수직인 방향에 대해서만 라돈공간으로 변환한다. 라돈 공간에서의 각 직선 파라미터에 대해 가장 강한 값(Mag\_Maxima)을 저장하여 각



(그림 2) 그래디언트 라돈변환을 이용한 선분 검출

직선에서 그래디언트의 크기가 가장 강한 위치를 기준으로 OpenCV에 구현된 확률적 허프 변환과 유사하게 선분을 검출하는 방법을 사용한다. 각 데이터 좌표에 대해 그래디언트에 의해 제한된 방향에서만 라돈공간을 갱신한다. 라돈공간에서 임계값 이상인 직선에 대해 연결요소와 병합방법에 의해 선분을 검출하였으며, 계산속도를 빠르게 하기 위하여 라돈공간에 상위 K개의 직선에서 선분을 검출하는 근사방법과 병렬처리 언어인 OpenCL로 구현하였다. (그림 2)는 그래디언트 라돈 변환을 이용한 선분 검출 과정을 나타낸다. 입력 만화영상에 대하여 밝기 보정의 전처리를 수행한 다음, 미분 필터를 이용하여 그래디언트의 크기  $M(x, y)$ 와 방향  $\phi(x, y)$ 을 계산한다. 식 (2)는 그래디언트를 이용한 라돈 변환이다. 라돈공간에서 임계값 이상의 직선을 검출하고, 각 라인 파라미터에 대해 가장 강한 값(Mag\_Maxima)을 기준으로 양 방향으로 직선상의 화소를 추적하며 연결요소(CC)를 검출한다. 검출된 연결요소를 결합하여 선분을 검출하고, 중복선분을 제거하여 최종적으로 박스 프레임 검출을 위한 후보선분을 검출한다.

$$R(\rho, \theta)[M, \phi] = \iint M(x, y) \delta_1(isgood(x, y)) \delta_2(\text{mod}(\phi(x, y), \pi) - (\theta + \pi/2)) \delta_3(\rho - x \cos \theta - y \sin \theta) dx dy$$

$$\text{여기서 } isgood(x, y) = \begin{cases} 1 & \text{if } M(x, y) > thMag \\ 0 & \text{Otherwise} \end{cases} \quad (2)$$

$$M(x, y) = \sqrt{\frac{\partial}{\partial x} I(x, y)^2 + \frac{\partial}{\partial y} I(x, y)^2}$$

$$\phi(x, y) = \text{atan2}\left(\frac{\partial}{\partial y} I(x, y), \frac{\partial}{\partial x} I(x, y)\right)$$

여기서  $R(\rho, \theta)$ 는 영상 그래디언트의 방향  $\phi(x, y)$ 과 크기  $Mag(x, y)$ 에 기반한 그래디언트 라돈변환 함수이고,  $isgood(x, y)$  함수는 임계값(theMag)이상의 그래디언트의 크기,  $Mag(x, y)$ 만을 라돈공간에 누적시키기 위한 함수이다.  $theMag$ 는 에지에 대한 임계값이다. 델타 함수  $\delta_1(t)$ ,  $\delta_2(t)$ ,  $\delta_3(t)$ 는  $t$ 가 0이면 1이고,  $t$ 가 1이면 0을 반환하는 함수이다.  $\delta_1(t)$ 은 강도가 임계값 이상인 잡음에 강한 화소를 선택하는 함수이며,  $\delta_2(t)$ 는 그래디언트의 각도와 직선  $L(\rho, \theta)$ 의 수직 정합성을 결정한다.  $\delta_3(t)$ 는 직선위에 있는 화소를 정의한다.  $\text{mod}(\phi(x, y), \pi)$ 는 그래디언트 방향을 각도 0도에서 180도로 계산하는 함수이다.

(그림 3)은 제안된 그래디언트 라돈변환을 이용한 선분검출 알고리즘이다. 단계1은 밝기 보정 단계로 영상의 밝기의 최소값과 최대값을 이용하여 영상의 밝기를 [0, 1] 사이로 정규화하여 안정적인 그래디언트 계산 및 임계치 설정을 하도록 한다. 단계 2는 식 (2)의 그래디언트 크기와 방향을 계산한다. 단계3은 그래디언트 라돈 변환과 선분 검출에 필요한 초기점(seed points)을 계산한다.  $M(x, y) > thMag$  화

소들에 대하여, 그래디언트 방향에 따라 라돈공간으로 그래디언트 크기를 누적한다. 여기서 그래디언트 크기 임계값(thMag)을 적용하는 이유는 노이즈에 강한 점들만을 계산하기 위해서이고, 누적과 동시에 동일 직선의 화소들 중에서 그래디언트 크기가 가장 강한 위치를 초기점으로 계산하여, 선분검출에서 에지 성분이 강한 위치의 선분을 먼저 찾도록 한다. 단계4는 라돈공간에서 선분을 검출할 초기 후보 직선을 누적 임계값(acc\_threshold)보다 큰 위치로 선택한다. 일반적으로 가능성 있는 모든 직선을 검사해서 최종 선분을 추출하는 것이 바람직하지만, 계산의 복잡성이 증가하여 실용성이 떨어진다. 이 문제를 극복하기 위한 방법은 영상 내에서 직선 신호를 가장 강하게 나타내는 상위 K개의 직선을 검출하는 방법이다. 여기서 직선 신호 강도는 라돈공간에 누적된 값을 사용한다. 단계 5는 이전 단계에서 검출된 임계값 이상의 모든 직선 또는 상위 K 개의 후보 직선으로 부터 다수개의 선분을 검출하는 단계이다. 단계 3에서 계산한 시작점(seed point)을 기준으로 정방향과 역방향 순으로 직선위의 화소를 추적하며 연결 요소(CC, connected component)를 생성하고 이것들의 병합으로 최종 선분을 생성한다. 후보 직선의 각도  $\theta$ 와 그래디언트 방향의  $\phi(x, y)$ 의 방향 일치성 및  $M(x, y)$ 의 크기 임계값을 조건으로 연결요소를 생성한다. 방향 일치성은 식(3)으로 계산하며, orient\_threshold는 방향 임계값이다.

$$\cos(\text{modular\_distance}(\theta, \phi(x, y))) < \text{orient\_threshold} \quad (3)$$

$$\text{여기서, } \text{modular\_distance}(\theta, \phi) = \min(\text{mod}(\theta - \phi, \pi), \text{mod}(\phi - \theta, \phi))$$

직선위의 화소 추적은 빠른 계산을 위해서 Bresenham의 직선 알고리즘을 사용하며, 연결 요소들은 잡음에 강인하면서 직선을 나타내는 강인한 신호 역할을 하는 화소를 추출하기 위하여 연결 요소의 개수를 3~4로 제한한다. 한 직선위의 최종 선분을 검출하기 위하여, 연결요소를 기반으로 초기에는 일대일로 연결요소를 선분으로 정의하고, 선분의 시작점과 끝점 사이의 거리가 임계값(linegap\_threshold)보다 작으면 두 연결 요소를 결합하여 하나의 선분으로 병합하고, 추가적으로 계산속도 향상을 위하여, 선분의 길이가 임계값(length\_threshold)보다 작을 경우는 삭제한다.

마지막으로 단계6에서는 검출된 선분끼리의 중복성을 제거한다. 중복선분 제거는 인접한 선분이 많이 발생하는 문제를 해결한다. 본 논문에서는 선분의 길이를 중심으로 두 선분의 길이와 모양이 유사하면서 매우 가까이 있는 선분을 중복으로 보고 제거한다. 두 선분의 중심으로부터 임계 거리 내에서 교차점이 발생하고, 두 선분의 각도가 45도보다 적고, 길이 비율이 임계값보다 크면 중복된 선분으로 보고 길이가 작은 선분을 제거한다. 또한 라돈공간의  $\theta$ 축이 같은 방향이면서( $\pm\kappa$ ),  $\rho$ 축 방향으로 가까운 거리( $\pm\eta$ ) 이거나, 또는  $\rho$ 축 방향으로 중복 가능한 거리( $\pm\zeta$ ) 내에 있으며 길이 비율이  $\pi$ 배인 선분은 중복 선분으로 하여 길이가 작은

$$radon\_dist(\Delta\rho, \Delta\theta : \theta_1, \rho_1, \theta_2, \rho_2) = \begin{cases} \Delta\rho = abs(\rho_1 - \rho_2) \\ \Delta\theta = \max(\theta_1, \theta_2) - \min(\theta_1, \theta_2) & , \text{if } \theta_1 > \theta_2 \\ \Delta\rho = abs(-\rho_1 - \rho_2) \\ \Delta\theta = \min(\theta_1, \theta_2) + \pi - \max(\theta_1, \theta_2) & , \text{otherwise} \end{cases} \quad (4)$$

선분을 삭제한다. 식 (4)에서  $radon\_dist(\Delta\rho, \Delta\theta : \theta_1, \rho_1, \theta_2, \rho_2)$  함수는 라돈공간상의 두 직선  $(\theta_1, \rho_1)$ ,  $(\theta_2, \rho_2)$  사이의 각 축 사이의 차이인 거리인  $(\Delta\rho, \Delta\theta)$  을 계산한다.

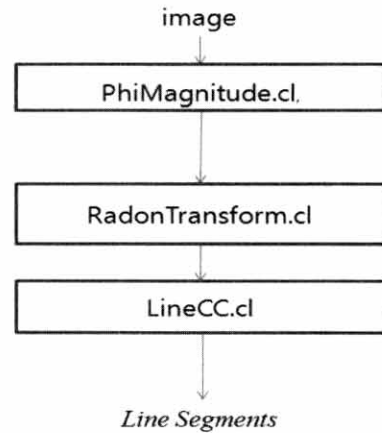
- 단계1. 영상 밝기 보정한다.
- 단계2. 영상 그래디언트의 크기  $M(x,y)$ 와 방향  $\phi(x,y)$ 을 계산한다.
- 단계3. 그래디언트 라돈변환과 선분 검출 시작점을 계산한다.
  - ①  $M(x,y) > mag\_threshold$  화소들에 대하여,  $\rho$ ,  $\theta = \text{mod}(\phi(x,y), \pi)$ 을 계산한다.
  - ②  $R[\rho, \theta] += M(x,y)$  또는 이중선형보간된 그래디언트 크기를 누적한다.
  - ③ 만약  $SeedMagnitude[\rho, \theta] < M(x,y)$  이면,  $SeedPoint[\rho, \theta] = (x,y)$   $SeedMagnitude[\rho, \theta] = M(x,y)$
- 단계4.  $R[\rho, \theta]$ 에서  $acc\_threshold$  보다 큰 모든  $(\rho_i, \theta_i)$ 들을 후보 직선으로 검출하거나 상위 K개의  $(\rho_i, \theta_i)_{i=0:K-1}$  후보 직선을 검출하는 방법으로 근사화 한다.
- 단계5. 모든 후보 직선  $(\rho_i, \theta_i)$ 에 대하여,
  - ① 직선  $(\rho_i, \theta_i)$ 의 초기 좌표  $(sx, sy) = SeedPoint[\rho_i, \theta_i]$ 로 정의한다.
  - ②  $(sx, sy, \rho_i, \theta_i)$ 를 기반으로 추적하여 CC를 생성한다.
  - ③ 인접한 CC를 병합한다.
  - ④ 병합된 CC들의 길이가  $length\_threshold$ 보다 크면, 새로운 선분으로 추가
- 단계6. 중복된 선분을 삭제한다.

(그림 3) 그래디언트 라돈변환을 이용한 선분검출 알고리즘

### 3.2 OpenCL을 이용한 선분검출 구현

본 논문에서는 그래디언트 라돈변환을 이용한 선분검출 알고리즘을 인텔의 OpenCL API를 사용하여 다중 코어를 갖는 인텔 CPU에서 구현하였다. (그림 4)와 같이 3개의 모듈(PhiMagnitude.cl, RadonTransform.cl, LineCC.cl)로 구성된다. 각 모듈은 순차적으로 구현되어 실행된다.

(그림 5)는 OpenCL로 구현된 병렬처리 선분검출 알고리즘이다. 단계2는 PhiMagnitude.cl 모듈에서 영상 그래디언트의 크기와 방향을 계산한다. 단계3은 RadonTransform.cl 모듈에서 그래디언트 라돈변환과 시작점을 계산한다. 라돈공간인 누적배열에 대한 동기화를 위하여 세마포어를 사용한다. 단계4는 LineCC.cl 모듈에서 라돈공간에서 임계 값 이상의 모든 직선후보에 대하여 선분을 검출한다. 단계5는 중복 선분제거 알고리즘이 순차적인 처리 특성이 강하기 때문에 (그림 3)의 중복선분제거와 동일하게 순차적으로 구현하였다. OpenCL은 병렬 처리 기반 플랫폼으로 모든 후보직선에 대하여 선분을 검출해도 빠른 실행환경을 제공한다.



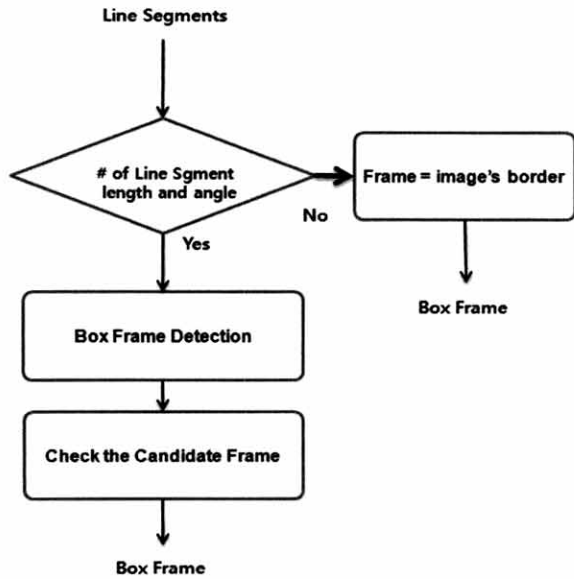
(그림 4) 선분 검출의 OpenCL 구현

- 단계1. 영상 밝기 보정한다.
- 단계2. 영상 그래디언트의 크기  $M(x,y)$ 와 방향  $\phi(x,y)$ 을 병렬로 계산한다. (PhiMagnitude.cl)
- 단계3. 그래디언트 라돈변환과 선분 검출 시작점을 병렬로 계산한다. (RadonTransform.cl)
  - ①  $M(x,y) > mag\_threshold$  화소들에 대하여,  $\rho$ ,  $\theta = \text{mod}(\phi(x,y), \pi)$ 을 계산한다.
  - ② Enter semaphore( $\rho, \theta$ )
  - ③  $R[\rho, \theta] += M(x,y)$
  - ④ 만약  $SeedMagnitude[\rho, \theta] < M(x,y)$  이면,  $SeedPoint[\rho, \theta] = (x,y)$   $SeedMagnitude[\rho, \theta] = M(x,y)$
  - ⑤ Leave semaphore( $\rho, \theta$ )
- 단계4. 선분을 병렬로 검출한다. (LineCC.cl)
  - ①  $R[\rho_i, \theta_i] < acc\_threshold$  이면, 정지
  - ② 직선  $(\rho_i, \theta_i)$ 의 초기 좌표  $(sx, sy) = SeedPoint[\rho_i, \theta_i]$ 로 정의한다.
  - ③  $(sx, sy, \rho_i, \theta_i)$ 를 기반으로 추적하여 CC를 생성한다.
  - ④ 인접한 CC를 병합한다.
  - ⑤ 병합된 CC들의 길이가  $length\_threshold$ 보다 크면,  $linesegid = \text{atomic\_increase}(\text{index\_buffer})$ 하고  $linesegid$ 에 선분으로 추가한다.
- 단계5. 중복된 선분을 삭제한다.

(그림 5) OpenCL로 구현된 병렬처리 선분검출 알고리즘

### 3.3 박스 프레임 검출

만화 영상에서 박스 프레임은 잠음 및 여백 등을 제외하고, 만화의 내용만을 포함하고 있는 가장 큰 사각형이다. (그림 6)은 만화의 내용과 여백을 구분하여 박스 프레임을 검출하는 과정을 보인다.



(그림 6) 박스 프레임 검출

검출된 선분의 수가 임계치보다 크면 (그림 7)의 박스 프레임 검출 알고리즘으로 박스 프레임을 검출 하고, 그렇지 않은 경우는 영상의 테두리를 박스 프레임으로 검출한다. 초기 박스 프레임을 영상의 테두리를 이루는 4개의 선분으로 초기화한다. 그래디언트 라돈 변환에 의해 검출된 선분들을 영상의 테두리로 초기화된 박스프레임의 4개의 선분(left, top, right, bottom)에 대하여 선분의 각도와 거리를 기준으로 오름차순으로 정렬한다. 검출된 선분 리스트의 순서대로 선분과 테두리가 이루는 다각형을 구한 다음, 각 다각형 영역이 여백 영역인지를 GLCM(gray level co-occurrence matrix)으로부터 계산된 동질성(homogeneity)으로 판단한다. GLCM의 행렬을 작은 크기의 8×8로 계산하기 위하여 입력 영상을 [0, 7]의 범위로 스케일링하고 다각형 영역에서 8×8로 수평방향 GLCM을 계산하고, 정규화하여 8×8 행렬  $P(i, j)$ 을 구하고, 후보선분  $seg(k)$ 와 영상의 테두리가 이루는 다각형  $R(k)$ 의 다각형동질성  $Hom(k)$ 을 식 (5)로 계산한다. 행렬  $P(i, j)$ 에서 대각선에 높은 값을 가질 때, 즉 동일한 값이 연속으로 있을 때 높은 동질성 값을 갖는다.  $Hom(k)$  값이 임계값  $H\_Th$ 보다 높은 값을 가질 때 유사한 화소들로 다각형 영역이 이루어진 것으로 판단하고 배경영역으로 처리하여 박스 프레임의 사각형의 선분을 갱신한다. 임계값  $H\_Th$ 는 동질성을 나타내는 유사영역  $Hom(k)$ 에 대한 임계값으로 실험에 의해 선택한다.

$$Hom(k) = \sum_{i,j \in R(k)} \frac{P(i,j)}{1 + |i - j|} \quad (5)$$

여기서  $R(k)$ :  $seg(k)$ 와 영상 테두리에 의해 정의되는 다각형

검출된 박스 프레임의 선분(left, right, top, bottom)과 4 모서리 점(P0, P1, P2, P3)이용하여 검출된 박스프레임을 직사각형이 되도록 보정한다. 4개의 선분이 길이가 동일하고, 모서리 점에서의 내각이 90도가 되도록 보정한다. P0, P1 사이, P2, P3사이, P0, P2 사이, P1, P3 사이의 거리가 모두 임계값  $dist\_Th$  이하일 때는 박스 프레임을 잘못 검출 한 것으로 보고 영상의 테두리를 박스프레임으로 검출한다.

입력: 입력 만화영상

후보 선분

$$seg(k) = (\rho(k), \theta(k), length(k), Mag(k)), k = 1, \dots, M$$

영상의 크기 :  $W = width, H = height$

출력: 박스프레임의 선분 (left, right, top, bottom),

4 꼭지점, P0, P1, P2, P3을 계산한다.

단계 1: 영상의 테두리로 박스프레임을 초기화한다. 왼쪽 상단을

원점(0,0)으로 할 때 박스프레임의 4변의 선분은

$(\rho, \theta, length, Mag)$ 는 다음과 같다.

$$left = (0, 90, H, 0)$$

$$right = (W, 90, H, 0)$$

$$top = (0, 0, W, 0)$$

$$bottom = (H, 0, W, 0)$$

단계 2: 영상의 테두리로 초기화된 박스프레임의 4개의 선분에

대하여 거리를 기준으로

오름차순으로 정렬한다.

$$Left\_list(k) = Sort(Dist(left, seg(k)), k = 1, \dots, M)$$

$$Right\_list(k) = Sort(Dist(right, seg(k)), k = 1, \dots, M)$$

$$Top\_list(k) = Sort(Dist(top, seg(k)), k = 1, \dots, M)$$

$$Bottom\_list(k) = Sort(Dist(bottom, seg(k)), k = 1, \dots, M)$$

단계 3:  $k = 1$ ,  $Left\_list(k)$ 와 박스프레임의 4 선분이 이루는 다

각형 중에서  $left$ 를 포함하는 다각형 영역의 인접화소

관계를 이용하여 동질성을 계산한다.  $P(i, j)$ 는 입력만

화영상을 [0, 7] 스케일링하여 영역에서 8×8로 계산한

수평방향 GLCM을 정규화한 행렬이고,  $Hom(k)$ 는 영역

의 동질성을 나타낸다.

$$P(i, j) = \frac{GLCM(i, j)}{\sum GLCM(i, j)}$$

$$Hom(k) = \sum_{i,j \in R(k)} \frac{P(i, j)}{1 + |i - j|}$$

여기서  $R(k)$ :  $seg(k)$ 와 영상 테두리에

의해 정의되는 다각형

$$left = Left\_list(k) \text{ if } Hom(k) > H\_Th$$

$k = k + 1$  로 하고 단계 3을 반복한다.

단계 4:  $Right\_list(k)$ ,  $Top\_list(k)$ ,  $Bottom\_list(k)$  각각에 대하여,

단계 3과 같이 수행하여 박스프레임의 3개의 선분(right,

top, bottom)을 갱신한다.

단계 5: 단계3과 단계 4에 의해 검출된 4개의 박스프레임을 구성

하는 선분(left, right, top, bottom)의 교점을 계산하여, 4

개의 꼭지점, P0, P1, P2, P3을 계산한다.

단계 6: P0, P1 사이, P2, P3사이, P0, P2 사이, P1, P3 사이의

거리가 모두 임계값  $dist\_Th$  이하일 때는 박스 프레임을

잘못 검출 한 것으로 보고 영상의 테두리를 박스프레임

으로 검출한다.

(그림 7) 선분을 이용한 박스 프레임 검출

3.4 만화영상의 크기 및 회전 정규화

검출된 박스 프레임의 4개의 모서리 점,  $P0(x_0, y_0)$ ,  $P1(x_1, y_1)$ ,  $P2(x_2, y_2)$ ,  $P3(x_3, y_3)$ 을 이용하여 영상을 기울어짐이 없고, 고정된 크기로 정규화 한다. 본 논문에서는 영상의 기울어짐에 대한 왜곡을 보정하고, 식 (6)으로 영상의 장축의 크기를  $fixedLength$ 로 하는  $nW \times nH$  크기로 정규화한 한다.  $fixedLength$ 는 정규화를 위한 임의의 상수이다.

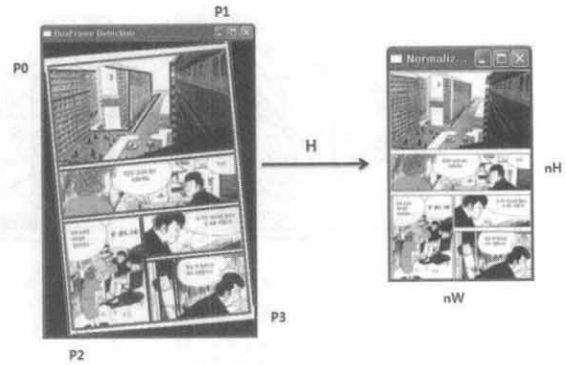
$$\begin{aligned}
 & \text{if } (lW > lH) & (6) \\
 & \quad nW = fixedLength; \\
 & \quad nH = lH \times scale; \\
 & \text{else} \\
 & \quad nW = lW \times scale; \\
 & \quad nH = fixedLength; \\
 & \text{end if}
 \end{aligned}$$

여기서,  $lW = \|p0 - p1\|$ ,  $lH = \|p0 - p2\|$  ,

$$scale = \frac{fixedLength}{max(lW, lH)}$$

검출된 박스 프레임의 4개의 모서리 점,  $P0(x_0, y_0)$ ,  $P1(x_1, y_1)$ ,  $P2(x_2, y_2)$ ,  $P3(x_3, y_3)$ 와 정규화된 영상의 테두리의 4 모서리 좌표인  $P0'(0, 0)$ ,  $P1'(nW - 1, 0)$ ,  $P2'(0, nH - 1)$ ,  $P3'(nW - 1, nH - 1)$ 사이의 대응관계를 이용하여 계산한 식 (7)의 호모그래피와 이중선형변환으로 (그림 8)과 같이 정규화 한다.

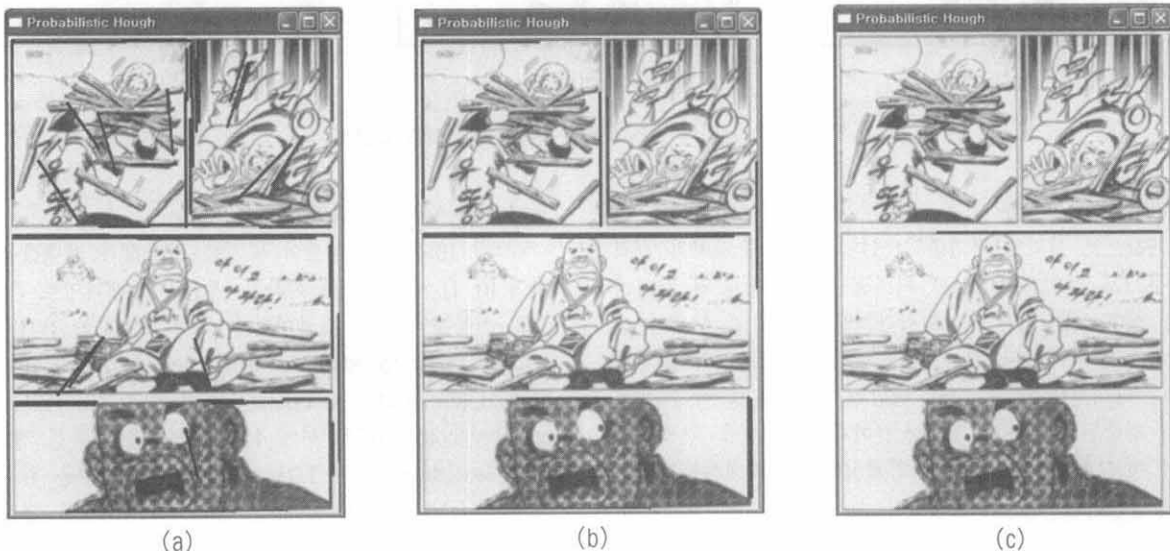
$$P'_i = H P_i, i = 0, 1, 2, 3 \quad (7)$$



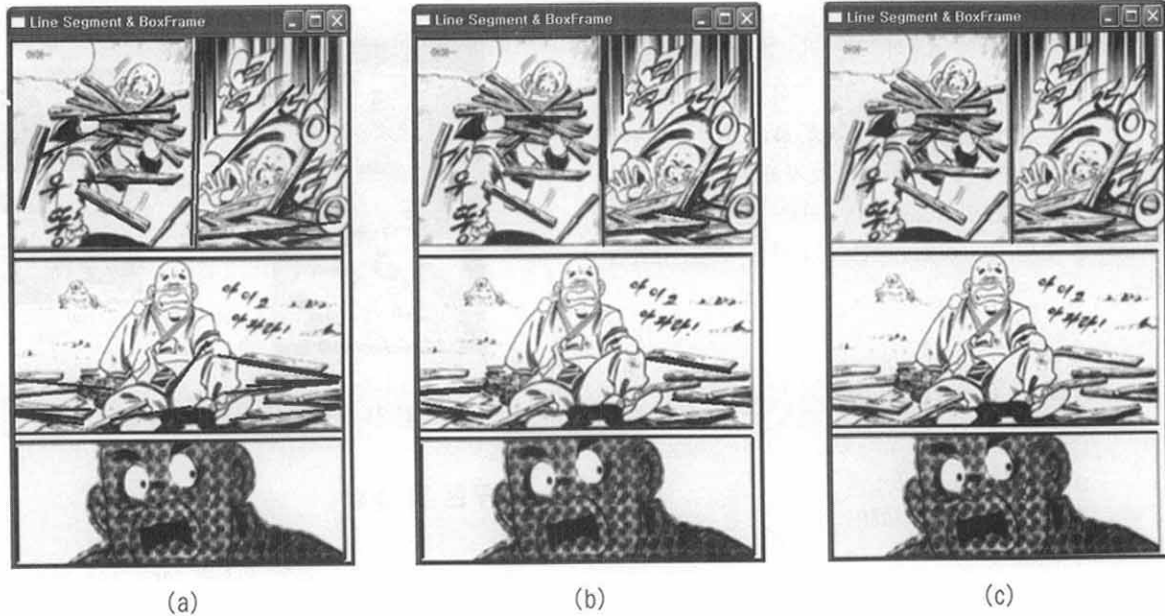
(그림 8) 박스 프레임을 이용한 영상 정규화

4. 구현 및 실험

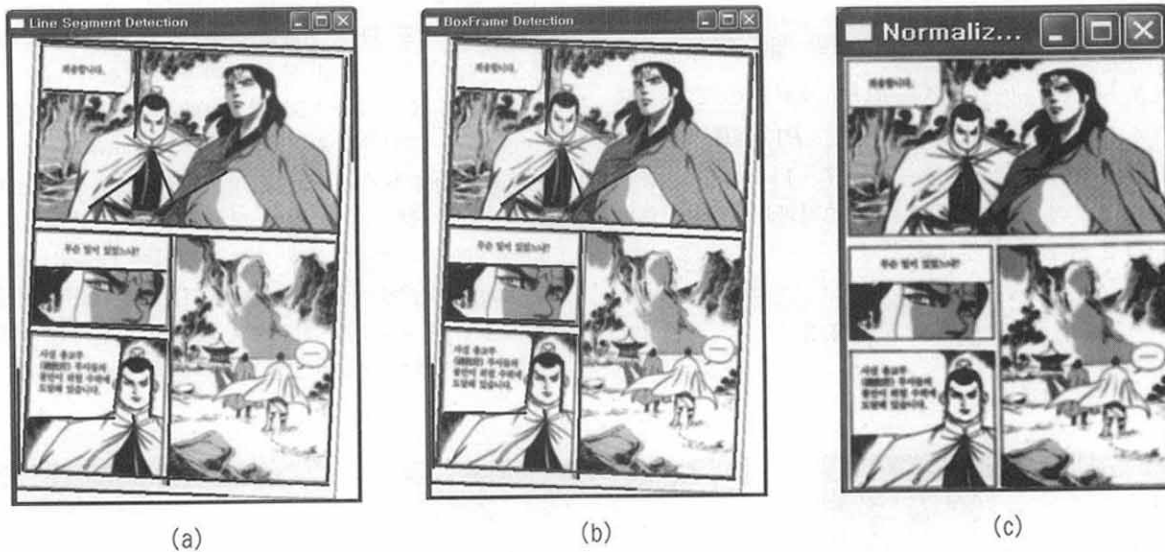
제안된 그래디언트 라돈 변환을 이용하여 만화영상에서 뚜렷한 선분을 검출하고, 검출된 선분을 이용하여 만화영상의 내용만을 포함한 박스 프레임을 검출하고, 검출된 박스 프레임을 이용하여 만화영상을 기울어짐이 없는 고정된 크기로 정규화 하는 실험결과를 기술한다. 실험에 사용된 만화 영상은 서로 다른 만화책으로부터 구성된 300장을 기울어짐이 없이 잘 스캐닝 된 영상과 기울어짐이 있는 영상으로 구성된 총 600장으로 실험하였다. 실험 환경은 Intel Core™ i5 CPU M 430@2.27GHz, windows7(x86), visual studio 2010에서 수행 하였으며, 테스트에 사용한 스캐너는 HP Scanjet 8270 이며 회전 영상은 5도 (175~5, 기준 0도)에서 임의로 회전시켰다. (그림 9)는 OpenCV의 함수  $cvHoughLines2$ 에서  $CV_HOUGH_PROBABILISTIC$  옵션으로 구현된 확률적 허프변환으로 Canny 연산자를 이용하여 검출한 에지영상을 입력영상으로 선분을 검출한 결과이다.



(그림 9) 확률적 허프변환에 의한 선분검출



(그림 10) 제안된 그래디언트에 의한 선분검출



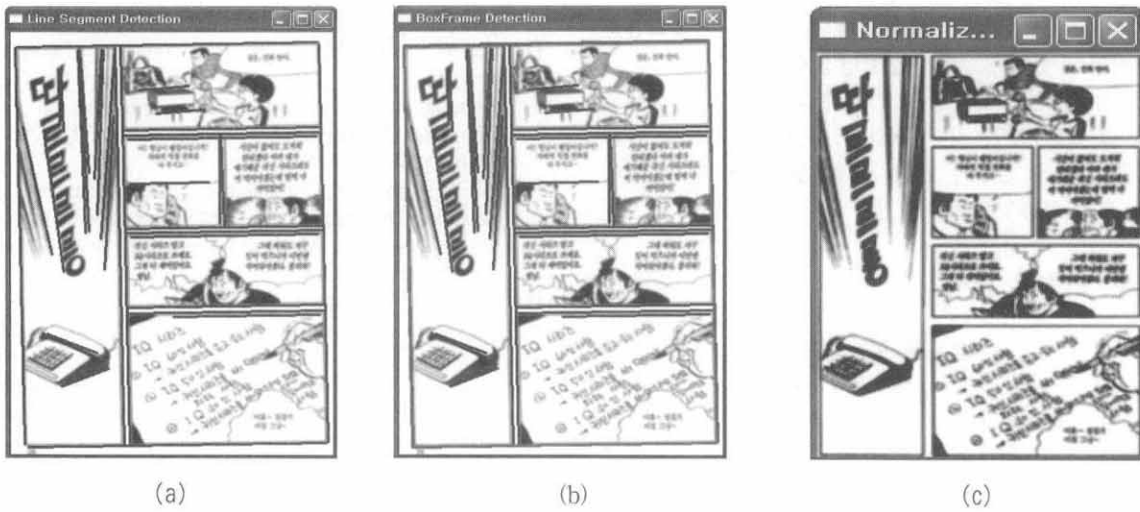
(그림 11) 제안된 그래디언트 라돈변환에 의한 정규화

임계값에 따ms 선분 검출 정도를 보이기 위하여, 서로 다른 임계값으로 실험한 결과를 보였다.  $(\rho, \theta)$ 의 양자화 간격은 모두 1로 하였으며, (a)는 허프공간의 누적 값의 임계치를 50, 최대선분길이를 50, 병합간격을 4로 하여 48개의 선분이 검출된 결과이다. (b)는 허프공간의 누적 값의 임계치를 100, 최대선분길이를 100, 병합간격을 4로 하여 14개의 선분이 검출된 결과이다. (c)는 길이가 큰 선분을 검출하기 위하여 허프공간의 누적 값의 임계치를 50, 최대선분길이를 200, 병합간격을 4로 하여 1개의 선분이 검출된 결과이다. 대부분의 선분이 만화영상의 선분에 대응하지만 박스 프레임 검출하기에 충분한 선분을 검출하지 못하였으며, 일부의 선분은 에지가 밀집된 곳에서 만화영상에서 선분이 아닌

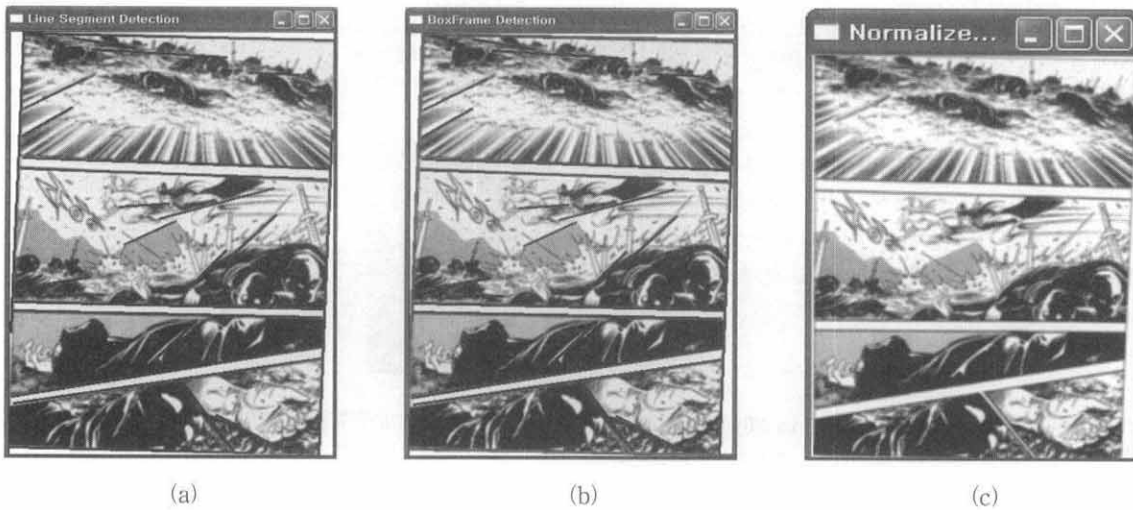
곳이 선분으로 검출되었다.

(그림 10)은 입력영상의 밝기를 최소값과 최대값을 이용하여  $[0, 1]$  사이로 정규화하고, 제안된 그래디언트 라돈변환으로 선분을 검출한 결과이다.  $(\rho, \theta)$ 의 양자화 간격은 모두 1로하고,  $mag\_threshold = 0.015$ ,  $length\_threshold = 150$ ,  $linegap\_threshold = 4$ ,  $orient\_threshold = 22.5$ 하였다. (a)는  $acc\_threshold = 0.1$ 로 하여 44개의 선분을 검출한 결과이고, (b)는  $acc\_threshold = 1.0$ 로 하여 29개의 선분을 검출한 결과이며, (c)는  $acc\_threshold = 5.0$ 로 하여 8개의 선분을 검출한 결과이다. (그림 9)에 비교해서 만화영상의 긴 직선들을 잘 검출하였으며, 그래디언트를 사용하였기 때문에 인접한 에지로 인한 오검출이 적음을 확인할 수 있다.





(그림 12) 제안된 그래디언트 라돈변환에 의한 정규화2



(그림 13) 제안된 그래디언트 라돈변환에 의한 정규화3

(그림 11), (그림 12), (그림 13)은 (그림 10)의 (b)와 같이  $acc\_threshold = 1.0$ 로 하여 실험한 결과이다. (a)는 기울어진 만화영상에서 제안된 그래디언트 라돈변환을 이용하여 검출한 선분이며, (b)에서 선분을 이용하여 검출한 박스프레임을 빨강색으로 표시하였으며, (c)는 박스 프레임을 이용하여 만화영상의 내용만을 영상의 장축이 고정크기인 255가 되도록 정규화한 결과이다. (그림 11), (그림 12), (그림 13)의 (a)와 (b)에서 영상의 크기는  $484 \times 763$ ,  $462 \times 568$ ,  $473 \times 666$ 로 각각 다르지만 (c)에서의 해상도는 세로축이 모두 255로 정규화 되어 같다.

<표 1>은  $1472 \times 2096$  크기의 만화영상에서의 확률적 허프변환, 제안된 그래디언트 라돈, OpenCL로 구현된 제안된 그래디언트 라돈에 의한 선분검출 평균 실행시간을 비교한 결과이다. 확률적 허프변환(OpenCV)은 (그림 9)의 실험과 동일한 임계치 및 파라미터를 사용하였으며, 그래디언트 라돈 변환 및 OpenCL로 구현된 그래디언트 라돈에서는 (그림 10)의 (b)와 같이  $acc\_threshold = 1.0$ 로 하여 실험한 결과이다. 라돈공간의 임계값  $acc\_threshold$ 를 작게 하면 너무 많은 선분이 검출되며, 크게 하면 박스 프레임을 검출하기에 너무 적은 선분이 검출된다. 실험결과 OpenCV에 비해 제안된 그래디언트 라돈 방법에 의한 선분 검출 방법이 빠르며, 이것은 제한된 방향의 라돈공간에만 누적시키며, 효율적으로 선분을 하였기 때문이다. 또한 OpenCL로 구현된 제안된 그래디언트 라돈에 의한 선분 검출 방법이 가장 빠른 것을 알 수 있다. 스레드에 의해 병렬로 알고리즘을 수행하기 때문에 보다 빠르게 수행되었음을 확인할 수 있었다.

림 10)의 (b)와 같이  $acc\_threshold = 1.0$ 로 하여 실험한 결과이다. 라돈공간의 임계값  $acc\_threshold$ 를 작게 하면 너무 많은 선분이 검출되며, 크게 하면 박스 프레임을 검출하기에 너무 적은 선분이 검출된다. 실험결과 OpenCV에 비해 제안된 그래디언트 라돈 방법에 의한 선분 검출 방법이 빠르며, 이것은 제한된 방향의 라돈공간에만 누적시키며, 효율적으로 선분을 하였기 때문이다. 또한 OpenCL로 구현된 제안된 그래디언트 라돈에 의한 선분 검출 방법이 가장 빠른 것을 알 수 있다. 스레드에 의해 병렬로 알고리즘을 수행하기 때문에 보다 빠르게 수행되었음을 확인할 수 있었다.

<표 1> 선분 검출 평균 실행시간 비교(sec)

방법	영상 크기	실행시간
확률적 허프변환(OpenCV)		2.403
그래디언트 라돈 변환		1.868
OpenCL로 구현된 그래디언트 라돈		0.375

기울어짐이 없는 300장의 스캔된 실험영상에 대한 실험에서 295장은 박스프레임을 검출하였다. 5장은 오 검출되었으며, 기울어짐이 있는 300장의 실험영상에서는 293장은 박스프레임을 검출하였으며, 7장은 오 검출되었다. 직선 성분을 검출하지 못했을 경우, 직선을 검출 하였더라도 기준 이하의 특성을 가졌을 경우와 기준각도를 찾지 못하면 영상의 테두리를 박스 프레임으로 검출한다.

### 5. 결론 및 향후 연구

본 논문에서는 그래디언트를 이용한 라돈변환으로 영상의 그래디언트에 수직인 방향에 대해서만 라돈공간으로 그래디언트를 누적하여 효율적으로 직선을 검출하였다. 검출된 직선을 추적하여 선분을 검출하였으며, 검출된 직선을 이용하여 여백을 제거하고 만화영상의 내용만을 포함한 박스 프레임을 검출하였다. 또한 검출된 박스 프레임을 이용하여 만화영상을 회전 없이 고정된 크기로 정규화하는 방법을 제시하였다. 제안된 그래디언트를 이용한 라돈변환과 선분 검출 알고리즘을 병렬처리언어인 OpenCL로 구현하여 계산속도를 향상시켰다. 본 논문에서 제안된 박스프레임 검출 방법을 이용하여 만화영상의 기울기 보정 및 크기 정규화를 효율적으로 할 수 있다. 또한 내용기반 만화영상 검색 시스템 구축에서 만화영상의 특징 및 묘사자 추출의 전처리 단계인 정규화과정으로 사용할 수 있다. 향후 라돈공간에서의 임계값 설정 및 오 검출을 줄이기 위한 연구가 필요하며, 정규화된 만화영상으로부터 특징추출 및 특징 기술자를 통한 비교 분석, 만화영상의 배치구조 분석 등에 대한 연구가 필요하다.

### 참 고 문 헌

[1] Yamada et al., "Mamoru Endoo, and Shinya Miyazaki. Comic image decomposition for reading comics on cellular phones," IEICE transactions on information and systems, E87-D(6), pp.1370 - 1376, 2004.

[2] Kenji et al., Juichi Miyamichi, "Layout Analysis of Tree-Structured Scene Frames in Comic Images," International Joint Conference on Artificial Intelligence, pp.2885-2890, 2007.

[3] 한은정, 장창혁, 정기철, "다층 신경망을 이용한 모바일 자동변환 시스템," 멀티미디어 학회 논문지, 제 12권 2호, pp.272-280, 2008.

[4] Yasuto Ishitani, "Document layout analysis by interaction between data-driven processing and concept-driven processing", Journal of Information Processing Society of Japan, Vol.42, No.11, pp.2711 - 2723, 2001.

[5] 김동근, 양승범, 황치정, "그래디언트 라돈변환을 이용한 만화영상의 외곽 경계사각형 검출," 멀티미디어 학회 논문지, 제 14권 4호, pp.538-545, 2011.

[6] Duda, R. O. and P. E. Hart, "Use of the Hough Transformation to detect Lines and Curves in Pictures," Communications of the ACM, Vol.15, pp.11 - 15, 1972.

[7] D. Ballard and C. Brown Computer Vision, Prentice-Hall, 1982.

[8] William H. Press, "Discrete Radon transform has an exact, fast inverse and generalizes to operations other than sums along lines," Proceedings of the National Academy of Sciences(PNAS), Vol.103, No.51, pp.19249-19254, 2006.

[9] Peyrin.F, Goutte.R, "Image invariant via the Radon Transform" Image Processing and its Applications, pp.458 - 461, 1992.

[10] T. S. Durrani and D. Bisset, "The Radon transform and its properties", GEOPHYSICS, Vol.49, No.8, pp.1180-1187, 1984.

[11] A.S.M Shihavuddin et. al, "Road Boundary Detection by a Remote Vehicle Using Radon Transform for Path Map Generation of an Unknown Area", International Journal of Computer Science and Network Security(IJCSNS), Vol.8 No.8, pp.64-69, 2008.

[12] Si-Yu Guo et al, "Probabilistic Hough transform for line detection utilizing surround suppression," International Conference on Machine Learning and Cybernetics, pp.2993-2998, 2008.

[13] N. Kiryati, Y. Eldar, A. M. Bruckstein, "A probabilistic Hough transform", Pattern Recognition, Vol.24, No.4, pp.303-316, 1991.

[14] L. Xu, E. Oja, and P. Kultanan, "A new curve detection method: Randomized Hough transform (RHT)", Pattern Recognition Letter, pp.331-338, 1990.

[15] E. Montseny et al, "Edge Orientation-based Fuzzy Hough Transform (EOFHT)," European Society for Fuzzy Logic and Technology(EUSFLAT) Conference Proceedings, 2003.

[16] 김동근, OpenCV programming, 가메출판사, 2010.

[17] OpenCV Reference Manual, <http://sourceforge.net/projects/opencvlibrary/>

[18] Intel OpenCL SDK, <http://software.intel.com/en-us/articles/intel-opencl-sdk/>

[19] <http://www.khronos.org/opencl/>

### 김 동 근



e-mail : dgkim@kongju.ac.kr  
 1989년 충남대학교 계산통계학과(학사)  
 1991년 충남대학교 계산통계학과(석사)  
 1996년 충남대학교 전산학과(박사)  
 1996년~2002년 서남대학교 조교수  
 2002년~2005년 천안공업대학 컴퓨터과 조교수

2005년~현 재 공주대학교 컴퓨터공학부 부교수  
 관심분야: 영상처리, 컴퓨터 비전, 멀티미디어 응용

### 전 혁 준



e-mail : fantajeon@gmail.com  
 2004년 우송대학교 컴퓨터공학과(학사)  
 2008년 충남대학교 컴퓨터공학과(석사)  
 2011년 충남대학교 컴퓨터공학과(박사)  
 2011년~현 재 한국항공우주연구원 선임 연구원  
 관심분야: 패턴인식, 컴퓨터비전, 영상검색, 영상인식

### 황 치 정



e-mail : cjhwang@cnu.ac.kr  
 1976년 서강대학교 수학과(학사)  
 1979년 서강대학교 수학과(석사)  
 1981년 뉴욕주립대학 수학과(석사)  
 1985년 코네티컷주립대학 전산과(석사)  
 1987년 코네티컷주립대학 전산과(박사)  
 1987년~1988년 코네티컷주립대학 전산과 조교수

1998년~현 재 충남대학교 컴퓨터공학과 교수  
 관심분야: 영상처리, 컴퓨터비전, 패턴인식, 그래픽스