

- 일련의 데이터가 순서대로 나열되어 있는 경우에는 미분 근사화 방법을 이용하여 변화량을 측정할 수 있음

- 전진 차분 (앞에 있는 픽셀과 픽셀 자신)
- 후진 차분 (뒤에 있는 픽셀과 픽셀 자신)
- 중앙 차분 (앞과 뒤 픽셀값을 이용)

- 2차원 평면 편미분

- 2차원 영상 $I(x, y)$ 를 가로 방향으로 미분한다는 것은 y 좌표는 고정된 상태에서 x 축 방향으로만 미분 근사를 계산하는 것을 의미하며, 이러한 연산을 x 축 방향으로의 편미분(partial derivative)이라고 함
- x 축과 y 축 방향에 대한 각각의 편미분을 중앙 차분 방법으로 근사화하면 다음과 같음

$$I_x = \frac{\partial I}{\partial x} \cong \frac{I(x+1, y) - I(x-1, y)}{2}$$

$$I_y = \frac{\partial I}{\partial y} \cong \frac{I(x, y+1) - I(x, y-1)}{2}$$

Copyright © Gilbut, Inc. All rights reserved.

- 중앙 차분을 이용한 영상의 미분 근사는 마스크 연산을 이용하여 쉽게 구현할 수 있음
- 2차원 영상을 x 축과 y 축 방향에 대해 편미분을 수행하는 단순화시킨 마스크를 주로 사용

-1	0	1
-----------	----------	----------

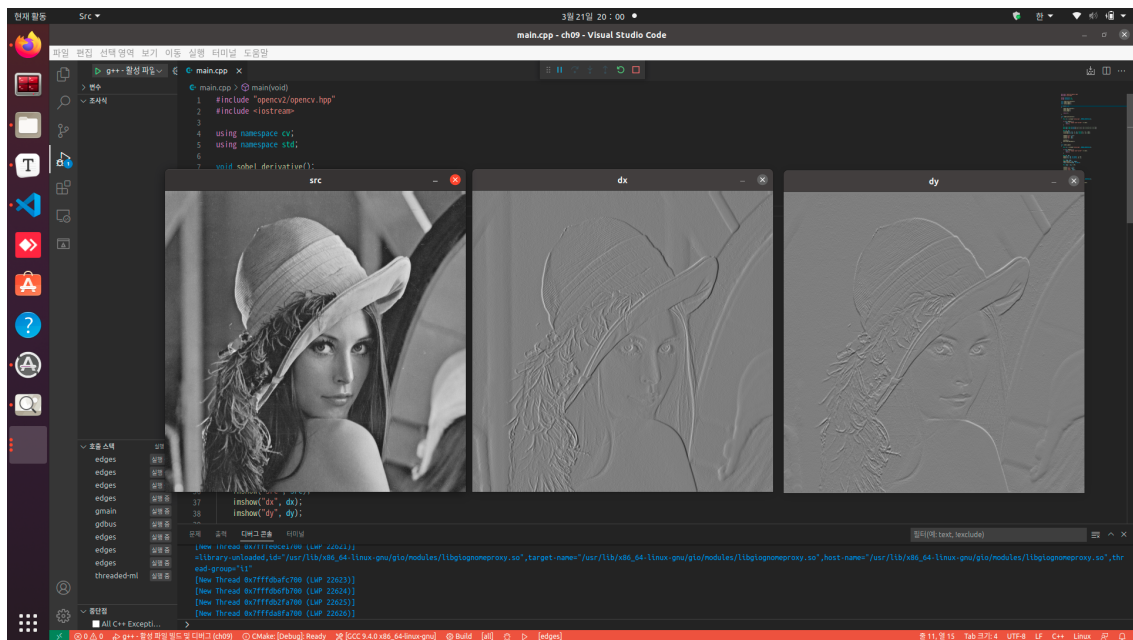
(a)

-1
0
1

(b)

Copyright © Gilbut, Inc. All rights reserved.

- 실제 영상에 대하여 x 축 방향과 y 축 방향으로 각각 편미분한 결과

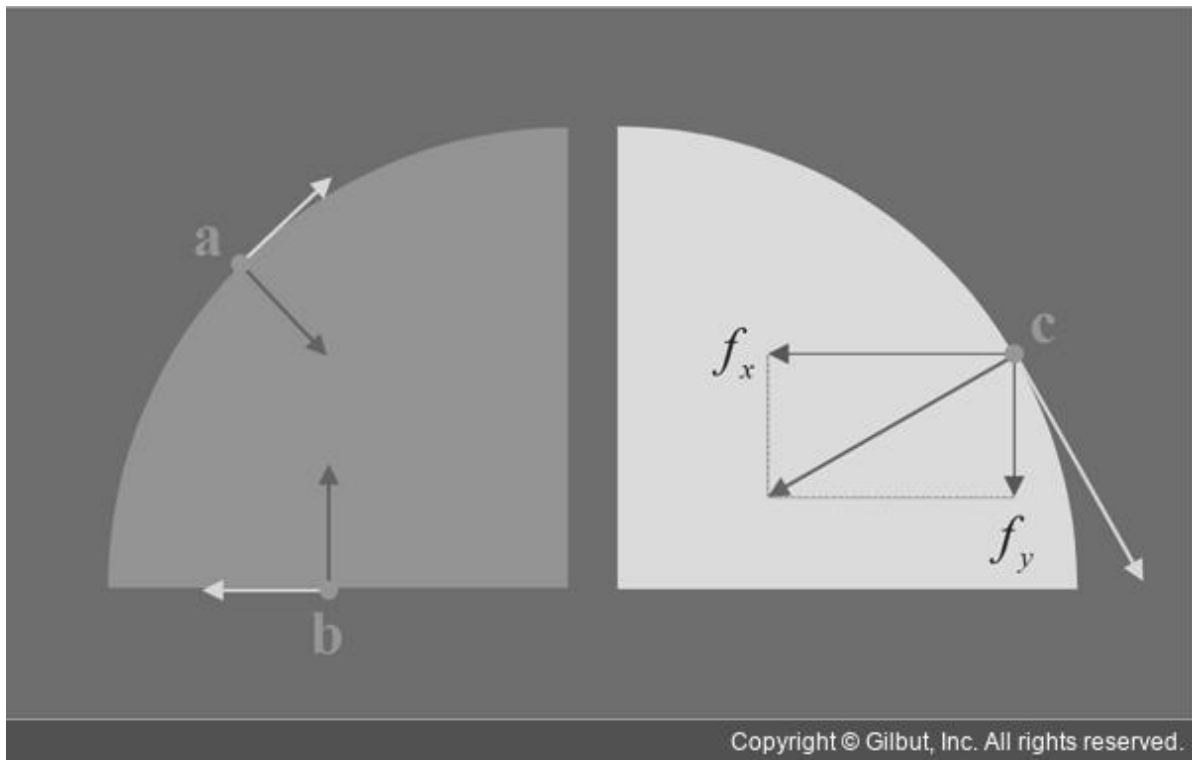


- 2차원 공간에서 정의된 함수 $f(x, y)$ 가 있을 때 이 함수의 x 축 방향 미분과 y 축 방향 미분을 한꺼번에 벡터로 표현한 것을 그래디언트(gradient)라고 함

$$\nabla f = \begin{bmatrix} f_x \\ f_y \end{bmatrix} = f_x \mathbf{i} + f_y \mathbf{j}$$

Copyright © Gilbut, Inc. All rights reserved.

- 그래디언트 벡터 설명을 위한 예시



9.1.2 마스크 기반 에지 검출

여러 가지 방법의 미분 근사 마스크가 개발되었지만 그중 가장 널리 사용되고 있는 미분 마스크는 소벨 필터(Sobel filter) 마스크

- 3x3 소벨 필터 마스크

-1	0	1
-2	0	2
-1	0	1

(a)

-1	-2	-1
0	0	0
1	2	1

(b)

Copyright © Gilbut, Inc. All rights reserved.

- 대부분의 영상에는 잡음이 포함되어 있어서 1×3 또는 3×1 마스크를 이용하여 미분을 구할 경우 다소 부정확한 결과가 생성될 수 있음
- (a)는 x축 방향으로의 편미분을 구하는 소벨 마스크이고, (b)는 y축 방향으로의 편미분을 구하는 소벨 마스크
 - (a)에 나타난 x축 방향 미분 마스크는 현재 행에 대한 중앙 차분 연산을 2회 수행하고, 이전 행과 다음 행에 대해서도 중앙 차분 연산을 1회씩 수행

- 이러한 연산은 현재 행과 이웃 행에서의 픽셀 값 변화가 유사하다는 점을 이용하여 잡음의 영향을 줄이기 위함
- 현재 행에서 두 번의 중앙 차분 연산을 수행하는 것은 현재 행의 중앙 차분 근사에 더 큰 가중치를 주기 위함

- OpenCV는 소벨 마스크를 이용하여 영상을 미분하는 Sobel() 함수를 제공

```
void Sobel(InputArray src, OutputArray dst, int ddepth,
           int dx, int dy, int ksize = 3, double scale = 1, double delta = 0,
           int borderType = BORDER_DEFAULT);
```

- Sobel() 함수는 3×3 소벨 마스크 또는 확장된 형태의 큰 마스크를 이용하여 영상을 미분함
- OpenCV는 널리 사용되고 있는 소벨 마스크 외에도 샤르 필터(Scharr filter) 마스크를 이용한 미분 연산도 지원함
 - 샤르 필터는 3×3 소벨 마스크보다 정확한 미분 계산을 수행하는 것으로 알려져 있음

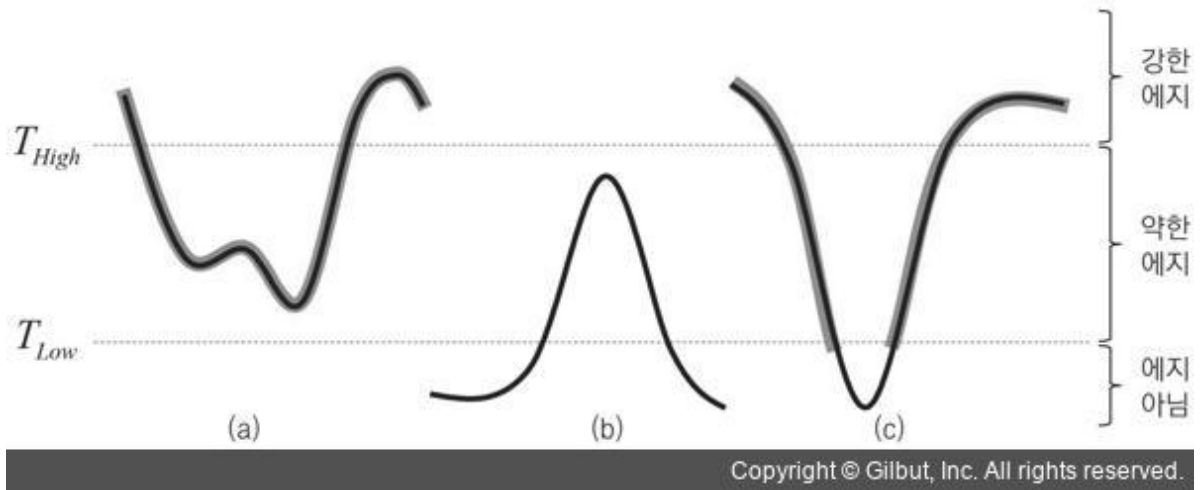
```
void Scharr(InputArray src, OutputArray dst, int ddepth,
            int dx, int dy, double scale = 1, double delta = 0,
            int borderType = BORDER_DEFAULT);
```

캐니 에지 검출기

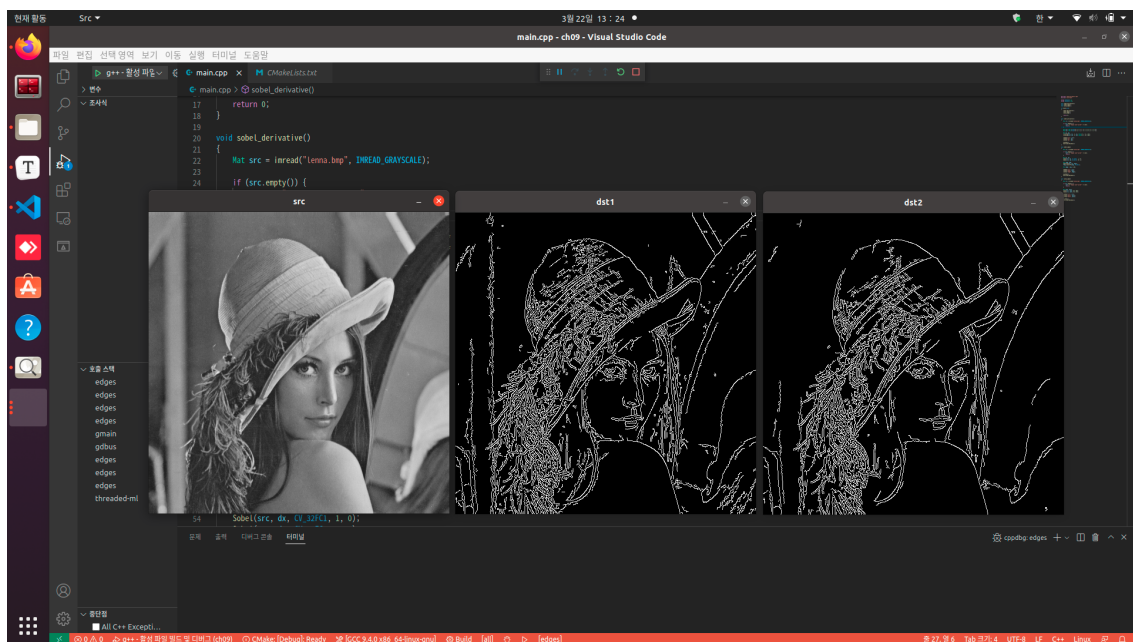
그래디언트 크기만을 기준으로 에지 픽셀을 검출하기 때문에 임계값에 민감하고 에지 픽셀이 두껍게 표현되는 문제점이 있어 캐니는 에지 검출을 최적화 문제 관점으로 접근함으로써 소벨 에지 검출 방법의 단점을 해결할 수 있는 방법을 제시함. 캐니 에지 검출기는 그래디언트의 크기와 방향을 모두 고려하여 좀 더 정확한 에지 위치 탐색 가능, 또한 에지는 서로 연결되어 있는 가능성이 높다는 점을 고려하여 그래디언트 크기가 다소 약하게 나타나는 에지도 놓치지 않고 찾을 수 있음.

- 가우시안 필터링
 - 가우시안 필터를 적용하는 이유는 영상에 포함된 잡음을 제거하기 위함
 - 다만 가우시안 필터링에 의해 영상이 부드러워지면서 에지의 세기도 함께 감소할 수 있기 때문에 적절한 표준 편차를 선택하여 가우시안 필터링을 수행해야 함
 - 영상에 포함된 잡음이 심하지 않다면 가우시안 필터링은 생략 가능
- 그래디언트 계산
 - 캐니 에지 검출기에서 그래디언트 계산은 보통 3×3 소벨 마스크를 사용
 - 다만 앞 절에서 설명한 소벨 에지 검출 방법이 오직 그래디언트 크기만을 이용하여 에지를 탐색하였다면, 캐니 에지 검출기는 좀 더 정확한 에지를 찾기 위해 그래디언트 방향도 함께 고려
 - 그러므로 가로 방향과 세로 방향으로 각각 소벨 마스크 필터링을 수행한 후, 그래디언트 크기와 방향을 모두 계산해야 함
- 비최대 억제
 - 에지 검출을 위해 단순히 그래디언트 크기가 특정 임계값보다 큰 픽셀을 선택할 경우, 에지 근방의 여러 픽셀이 한꺼번에 에지로 선택될 수 있음
 - 에지가 두껍게 표현되는 현상을 방지하기 위해 캐니 에지 검출기에서는 비최대 억제 과정을 사용
 - 결과적으로 비최대 억제를 수행함으로써 가장 변화율이 큰 위치의 픽셀만 에지로 검색
- 이중 임계값을 이용한 히스테리시스 에지 트래킹

- 하나의 임계값을 사용할 경우 이분법으로 결과가 판단되기 때문에 환경 변화에 민감해질 수 있음
- 보완하기 위해 캐니 에지 검출기에서는 두 개의 임계값을 사용



- 캐니 에지 함수 실행 결과



- 임계값은 각각 100과 150으로 설정. 임계값을 낮출수록 에지로 판별되는 픽셀이 더 많아지므로 dst1 영상에 더 많은 에지 픽셀이 검출된 것을 확인할 수 있음

9.2 직선 검출과 원 검출

영상에서 추출한 에지 정보를 이용하여 영상에서 직선 또는 원을 검출하는 방법 설명.