

컴퓨터 그래픽스

2. 2차원 그래픽스의 기본 요소

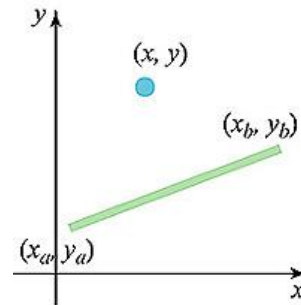
2022년 2학기

학습 내용

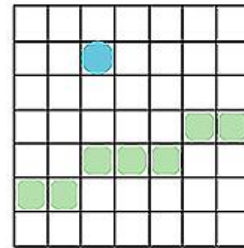
- 2차원 그래픽스 기본 요소
 - 점
 - 선
 - 원
 - 영역 채우기
 - 앨리어싱 효과

점과 선의 정의 및 속성

- 2차원 그래픽스의 기본적인 출력 요소
 - 점, 선, 다각형, 원, 타원, 곡선, 문자 등
 - 점과 선은 모든 2차원 그래픽스 객체 표현의 기본 요소
- 점 (Point)
 - 래스터 방식의 출력장치에서의 기본 요소: 픽셀로 표현
 - 기하공간에서의 점: 좌표 (x, y)
 - 점의 속성: 크기, 명암, 색상, 모양 등



기하적 공간



출력장치 공간

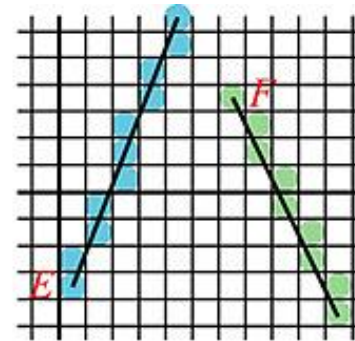
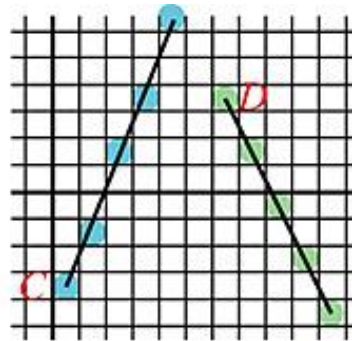
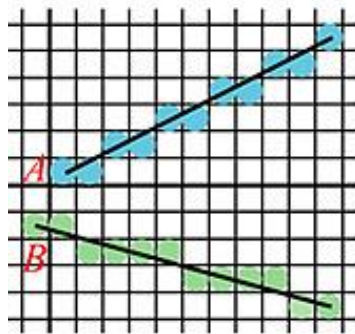
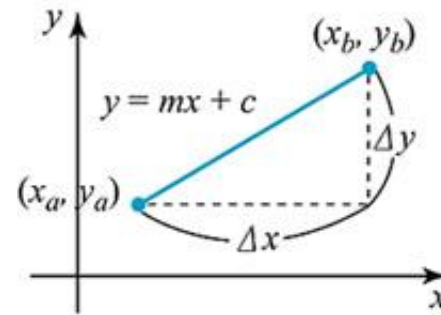
점과 선의 정의 및 속성

- 선 (Line)
 - 양 끝점으로 정의
 - 점의 좌표: 절대 좌표 또는 상대 좌표를 이용하여 표현
 - 절대 좌표: 시작점 (x_a, y_a) 과 끝점 (x_b, y_b) 으로 정의
 - 상대 좌표: 시작점 좌표 (x_a, y_a) 와 증가 값 $(\Delta x, \Delta y)$ 으로 정의
 - 선의 속성: 유형, 굵기, 색상, 선 끝 모양 등
 - 직선 방정식을 이용하여 선의 좌표 값 구하기
 - $y = mx + c$
 - m : 기울기, c : y 축 절편
 - 두 끝점 (x_1, y_1) (x_2, y_2) 를 사용하여 m 과 c 를 구한다
 - $m = \frac{(y_2 - y_1)}{(x_2 - x_1)}$ $c = y_1 - mx_1$

선 그리기: 1) DDA 알고리즘

- DDA (Digital Differential Analyzer) 알고리즘

- 선의 양끝 좌표로부터 래스터 출력 장치로 변환하는 가장 기본적인 알고리즘
- 선의 공식을 $y = mx + c$ 의 형태로 계산하여 픽셀을 구하는 방법
 - 기울기에 따라,
 - $m > 0$ 인 경우, x값 증가, y값 증가
 - » 기울기가 양수일 때 $0 \leq m \leq 1$ 인 경우
 - » 기울기가 양수일 때 $1 < m$ 인 경우
 - $m < 0$ 인 경우, x값 증가, y값 감소



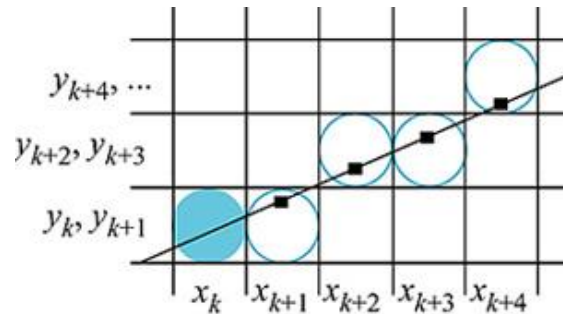
선 그리기: 1) DDA 알고리즘

- 초기화를 한다.
 - $\Delta x = x_b - x_a$, $\Delta y = y_b - y_a$, $m = \frac{\Delta y}{\Delta x}$
 - $x_1 = x_a$, $y_1 = y_a$
- 기울기에 m 의 값에 따라 다음계산을 수행한다.
 - 기울기 $|m| \leq 1$ 인 경우, 매번 $k+1$ 번 째 점에서 ($1 \leq k \leq \Delta x$)
$$x_{k+1} = x_k + 1 \quad y_{k+1} = y_k + m$$
따라서, $(x_{k+1}, y_{k+1}) = (x_k + 1, \text{round}(y_k + m))$
 - 기울기 $1 < |m|$ 인 경우, 매번 $k+1$ 번 째 점에서 ($1 \leq k \leq \Delta y$)
$$y_{k+1} = y_k + 1 \quad x_{k+1} = x_k + \frac{1}{m}$$
따라서, $(x_{k+1}, y_{k+1}) = (\text{round}(x_k + \frac{1}{m}), y_k + 1,)$

선 그리기: 1) DDA 알고리즘

- DDA 알고리즘의 특징

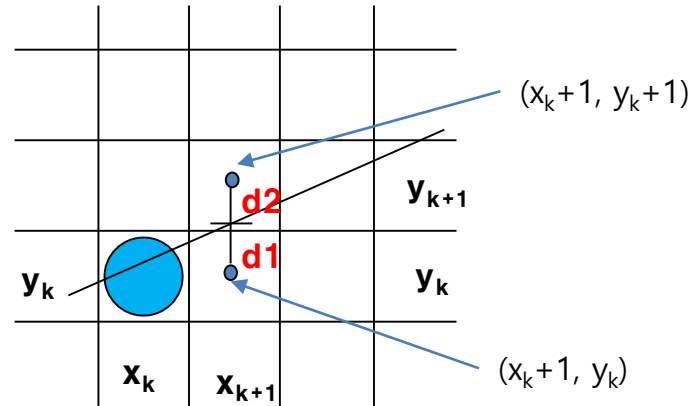
- 곱하기가 없이 소수점(Floating-point) 더하기 연산만을 반복
- 부동 소수 연산 사용, 정수연산에 비해서는 상대적으로 속도가 떨어진다.
- 반올림 연산 함수의 실행시간이 걸린다.
- 매번 정수좌표를 구할 때마다 오차가 축적



선 그리기: 2) 브레즌햄 알고리즘

- Bresenham 알고리즘

- 기울기가 0과 1사이라고 가정할 때, 선을 구성하고 있는 어느 한 점에서 가능한 다음 점
 - 오른쪽 점 또는 오른쪽 바로 위의 점
- 가능한 두 점 중, 실 선과 두 개의 가능한 점의 차이 (아래 그림에서 d1과 d2)가 더 작은 점을 선택하여 선을 나타내는 알고리즘
- 소수점 계산 없이 정수의 더하기 연산과 이동 연산만으로 처리되므로 속도가 빠르다.



선 그리기: 2) 브레즌햄 알고리즘

- 알고리즘 초기화
 - 기울기가 1보다 작은 경우 ($|m| < 1$):
 - $y = mx + c, m = \frac{\Delta y}{\Delta x}$
 - 시작점: $(x_a, y_a),$
 - 가능한 두 점: $(x_a+1, y_a), (x_a+1, y_a+1)$

 - 일반적인 k번째 점: $(x_k, y_k),$
 - 가능한 두 점: $(x_k+1, y_k), (x_k+1, y_k+1)$

선 그리기: 2) 브레즌햄 알고리즘

- 다음 점 x_{k+1} 에서

$$y = mx_{k+1} + c$$

$$d_1 = y - y_k = m(x_k + 1) + c - y_k$$

$$d_2 = (y_k + 1) - y = (y_k + 1) - (m(x_k + 1) + c)$$

$$\begin{aligned} d_1 - d_2 &= \{m(x_k + 1) + c - y_k\} - \{y_k + 1 - (m(x_k + 1) + c)\} \\ &= 2m(x_k + 1) - 2y_k + 2c - 1 \end{aligned} \quad (d_1 - d_2: \text{두 거리 사이의 차이})$$

- 가능한 두 점 중에 다음 점을 선택하는 판단매개변수: p_k

$$p_k = (d_1 - d_2) \Delta x$$

$$p_k = 2\Delta y(x_k + 1) + \Delta x(-2y_k + 2c - 1)$$

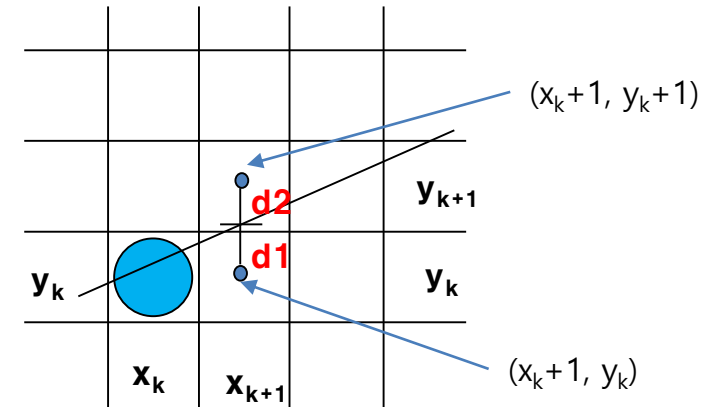
$$= 2\Delta yx_k - 2\Delta xy_k + 2\Delta y + \Delta x(2c - 1)$$

- $k+1$ 번째 판단매개변수를 위하여 k 에 $k+1$ 대입하면

$$p_{k+1} = 2\Delta yx_{k+1} - 2\Delta xy_{k+1} + 2\Delta y + \Delta x(2c - 1)$$

$$p_{k+1} - p_k = 2\Delta y(x_{k+1} - x_k) - 2\Delta x(y_{k+1} - y_k)$$

$$p_{k+1} = p_k + 2\Delta y - 2\Delta x(y_{k+1} - y_k)$$



선 그리기: 2) 브레즌햄 알고리즘

– p_k 의 부호 ($d_1 - d_2$ 의 부호)에 따라 다음 점 선택

$$p_k < 0 \rightarrow d_1 - d_2 < 0 \rightarrow d_1 < d_2 \rightarrow y_{k+1} = y_k$$

$$0 \leq p_k \rightarrow 0 \leq d_1 - d_2 \rightarrow d_2 \leq d_1 \rightarrow y_{k+1} = y_k + 1$$

$$p_k < 0 \rightarrow y_{k+1} = y_k \rightarrow p_{k+1} = p_k + 2 \Delta y - 2 \Delta x (y_{k+1} - y_k) = p_k + 2 \Delta y \quad (y_{k+1} - y_k == 0)$$

$$0 \leq p_k \rightarrow y_{k+1} = y_k + 1 \rightarrow p_{k+1} = p_k + 2 \Delta y - 2 \Delta x (y_{k+1} - y_k) = p_k + 2 (\Delta y - \Delta x) \quad (y_{k+1} - y_k == 1)$$

따라서

$p_k < 0$ 이면 \rightarrow 다음 점은 (x_k+1, y_k) \rightarrow 다음 판단매개변수 $p_{k+1} = p_k + 2 \Delta y$

$0 \leq p_k$ 이면 \rightarrow 다음 점은 (x_k+1, y_k+1) \rightarrow 다음 판단매개변수 $p_{k+1} = p_k + 2 (\Delta y - \Delta x)$

– 시작점 (x_a, y_a) 일 때 첫 번째 매개변수 값:

$$p_1 = 2\Delta y x_k - 2\Delta x y_k + 2\Delta y + \Delta x(2c - 1)$$

$$= 2\Delta y x_a - 2\Delta x y_a + 2\Delta y + \Delta x(2c - 1)$$

$$= 2\Delta y x_a - 2\Delta x(mx_a + c) + 2\Delta y + \Delta x(2c - 1)$$

$$= 2\Delta y x_a - 2(\Delta y x_a + \Delta x c) + 2\Delta y + \Delta x(2c - 1)$$

$$= 2\Delta y - \Delta x$$

앞 페이지에서,

$$p_k = 2 \Delta y x_k - 2 \Delta x y_k + 2 \Delta y + \Delta x (2c - 1)$$

에서 $x_k = x_a, y_k = y_a$

선 그리기: 2) 브레즌햄 알고리즘

- 브레즌햄 선 그리기 알고리즘 정리:
 - 기울기가 0과 1 사이인 경우에 적용
 - 초기값을 구한다.
 - 시작점의 좌표: (x_1, y_1)
 - $C_1 = 2\Delta y$ $C_2 = 2(\Delta y - \Delta x)$
 - $p_1 = 2\Delta y - \Delta x$
 - 판별식 p_k 값에 따라 다음 점의 위치를 구한다.
 - $p_k < 0 \rightarrow$ 다음 점: $(x_k + 1, y_k)$ $p_{k+1} = p_k + C_1$
 - $0 \leq p_k \rightarrow$ 다음 점: $(x_k + 1, y_k + 1)$, $p_{k+1} = p_k + C_2$

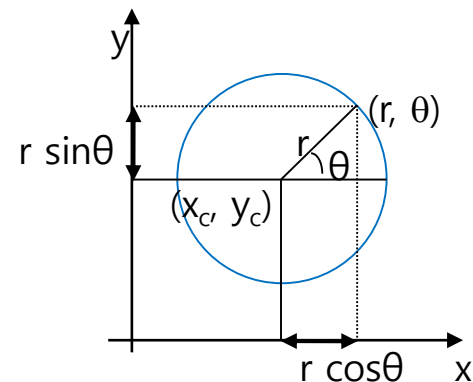
선 그리기: 2) 브레즌햄 알고리즘

- 예) 시작점 (1, 1) 끝점 (10, 7)을 연결하는 선을 구성하는 점들의 좌표값은?

원 그리기

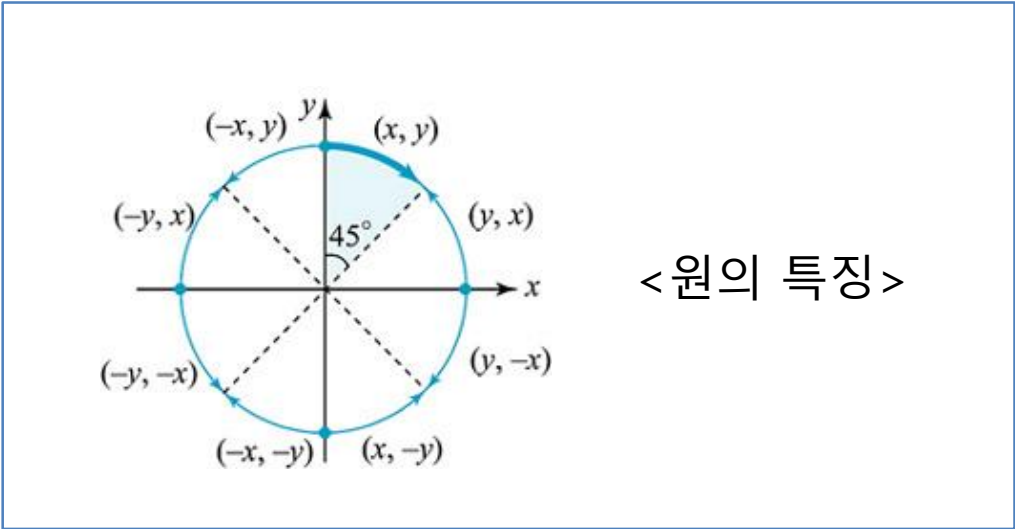
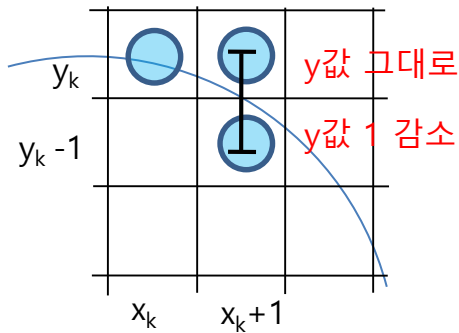
- 원: 한 점에서 같은 거리에 있는 점들의 집합
 - 점들을 선분으로 연결하여 곡선의 모양을 근사적으로 그린다.
 - 원을 나타내는 식
 - 원의 공식: $x^2 + y^2 = r^2$
 - 매개변수 방정식: $y = f(x)$ 또는, $x = g(\theta)$, $y = h(\theta)$
 - 직교 좌표계에서는: $y = \pm\sqrt{r^2 - x^2}$
- 극 좌표계에서는: $x = r \cos\theta$, $y = r \sin\theta$

- 원의 중심이 (x_c, y_c) 일 때는,
 - 원의 공식은 $(x-x_c)^2 + (y-y_c)^2 = r^2$
 - 극좌표식은 $x = x_c + r \cos\theta$,
 $y = y_c + r \sin\theta$



원 그리기: 브레젠햄 알고리즘

- Bresenham 알고리즘
 - 제곱근이나 삼각함수 등의 계산이 없이 정수 연산만으로 처리
 - 각도가 $45^\circ \leq \theta \leq 90^\circ$ 인 부분에 대하여 계산
 - x방향으로 1만큼 증가 → y축에서는 같은 점 또는 1감소된 점:
k번째 점 $(x_k, y_k) \rightarrow$ k+1번째 점 (x_k+1, y_k) 또는 (x_k+1, y_k-1)



원 그리기: 브레즌햄 알고리즘

- $x_1 = x_c, y_1 = y_c + r$ 일 때, $x_k < y_k$ 인 동안 반복

$$x^2 + y^2 = r^2 \rightarrow y^2 = r^2 - x^2$$

$$y_k^2 = r^2 - x_k^2 \rightarrow y_{k+1}^2 = r^2 - (x_k + 1)^2$$

$$d_1 = y_k^2 - y^2, \quad d_2 = y^2 - (y_k - 1)^2 \quad \text{라고 하면}$$

$$\text{판단매개변수 } p_k = d_1 - d_2 = (y_k^2 - y^2) - \{y^2 - (y_k - 1)^2\}$$

$k+1$ 번째 판단매개변수를 위해

$$k \text{ 에 } k+1 \text{ 대입하면, } p_{k+1} = (y_{k+1}^2 - y^2) - \{y^2 - (y_{k+1} - 1)^2\}$$

$$p_{k+1} - p_k = 2 y_{k+1}^2 - 2 y_k^2 - 2 y_{k+1} + 2 y_k + 4(x_k + 1) + 2$$

$$\rightarrow p_{k+1} = p_k + 2 y_{k+1}^2 - 2 y_k^2 - 2 y_{k+1} + 2 y_k + 4(x_k + 1) + 2$$

$$\text{즉, } p_k < 0 \rightarrow d_1 - d_2 < 0 \rightarrow \text{다음 점은 } (x_k + 1, y_k)$$

$$0 \leq p_k \rightarrow 0 \leq d_1 - d_2 \rightarrow \text{다음 점은 } (x_k + 1, y_k - 1)$$

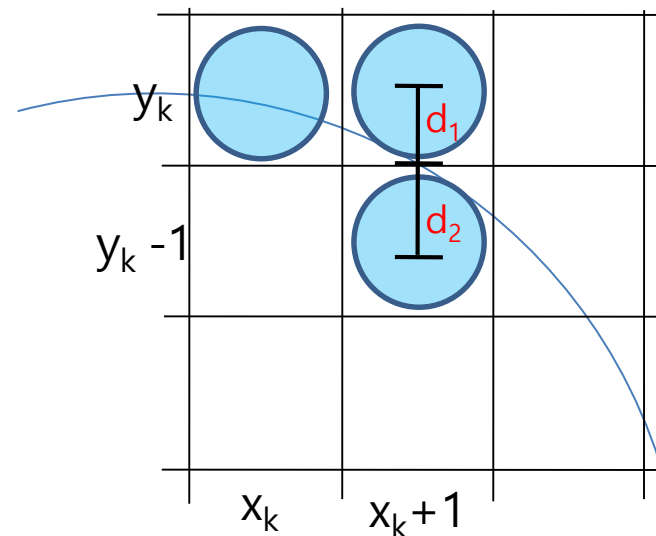
$$\text{다음 판단매개변수: } p_{k+1} = p_k + 4x_k + 6$$

$$\text{다음 판단매개변수: } p_{k+1} = p_k + 4(x_k - y_k) + 10$$

- 시작점 $(0, r)$ 에서,

$$p_1 = (y_1^2 - y^2) - \{y^2 - (y_1 - 1)^2\} = 3 - 2r$$

$$\text{초기화: } x_1 = x_c, \quad y_1 = y_c + r \rightarrow p_1 = 3 - 2r$$

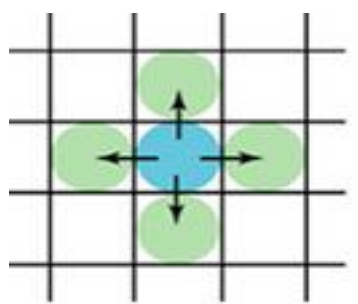


원 그리기: 브레즌햄 알고리즘

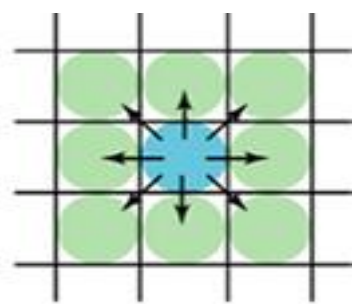
- 예) 중심이 $(0, 0)$ 이고 반지름이 6인 원을 구성하는 점들의 좌표값은?

영역 및 다각형 채우기

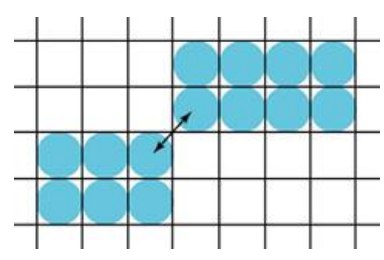
- 2차원 그래픽스에서 영역
 - 모든 그림들은 픽셀들로 구성되고,
 - 선이나 도형이 서로 만나서 영역이 생성된다.
- 영역의 특성
 - 영역: 같은 색상 값을 갖는 이웃한 픽셀들의 집합
 - 이웃한 픽셀간의 연결 방식 (픽셀의 연결 방식)



4방향 연결



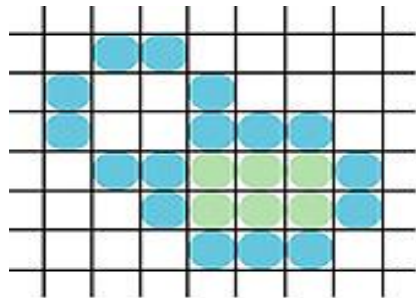
8방향 연결



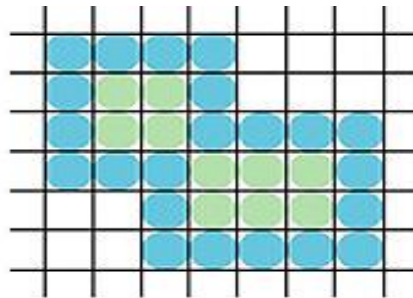
영역 연결방식의 예:
4방향 연결 - 2개의 영역
8방향 연결 - 1개의 영역

영역 및 다각형 채우기

- 래스터 출력에서 영역의 경계 픽셀과 내부 픽셀은 연결방식을 다르게,
 - 경계 8방향 연결 \Rightarrow 내부는 반드시 4방향 연결 채우기
 - 경계 4방향 연결 \Rightarrow 일반적으로 내부는 8방향 연결 채우기
- 일반적인 래스터 방식의 출력장치
 - Bresenham 선 그리기 알고리즘은 8방향연결 방식
 - 영역 채우기 알고리즘은 내부 영역을 4방향연결 방식으로 채우기



8방향 연결 방식의 경계
4방향 연결 방식의 내부



4방향 연결 방식의 경계
8방향 연결 방식의 내부

영역 및 다각형 채우기

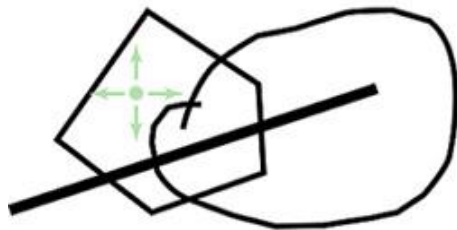
- 영역 채우기 알고리즘

- 시드 채우기 방식

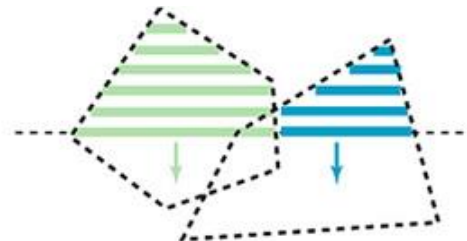
- 그림이 래스터 버퍼에 그려진 후 이미지에서 영역의 채우기를 실행
 - 영역 내부의 한 픽셀이 시드로 주어지고 이 픽셀에서부터 채워나간다
 - 주로 페인팅 소프트웨어나 대화식 이미지 처리 프로그램 (사용자가 원하는 영역을 클릭하면 그 점을 시드로 하여 채우기를 실행)에서 사용

- 다각형 주사변환 방식

- 매 주사선 별로 다각형의 내부 구간을 판단하여 해당 픽셀을 칠한다.
 - 주사선채우기(Scan-line Fill)라고도 한다.
 - 주로 벡터방식의 그리기 소프트웨어에서 사용 (채우기를 하는 도형의 벡터 데이터를 가지고 있다)



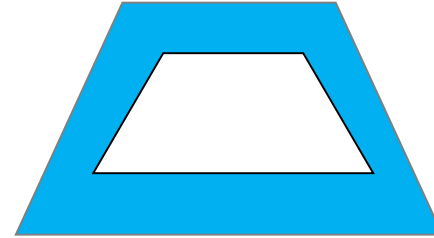
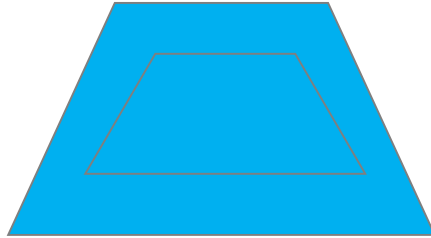
시드 채우기 방식



다각형 주사변환 방식

다각형 내부 판단 규칙

- 여러 개의 다각형으로 구성된 복잡한 도형이 주어지면 내부 영역을 다르게 판단할 수 있다.



- 판단 규칙**

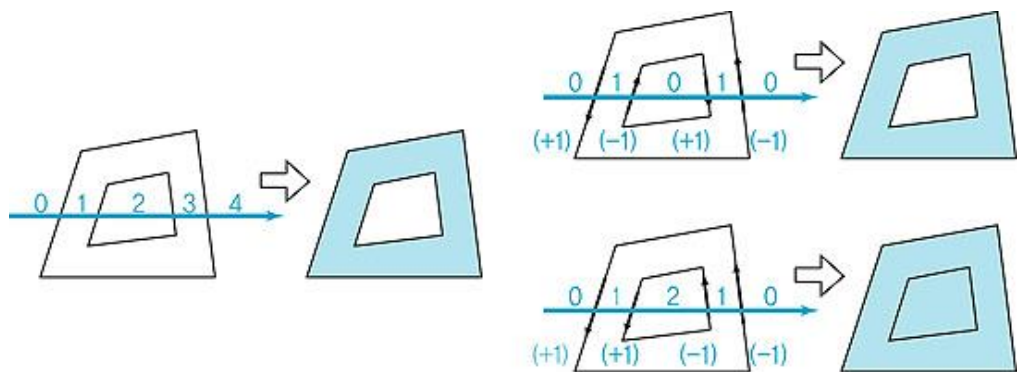
- 1. 홀짝 규칙 (Even-Odd rule)

- 매 주사선별로 x값을 증가하면서
 - 다각형의 에지가 홀수 번째 교차하면 내부 구간이 시작
 - 짝수 번째 교차하면 외부 구간이 시작된다.
 - 알고리즘이 간단하다.
 - 서로 다른 두 개의 다각형이 겹쳐있을 때 그 겹친 부분은 항상 외부 영역으로 판단

다각형 내부 판단 규칙

2. 접기회수 규칙 (Non-Zero Winding Rule): 에지의 방향을 고려

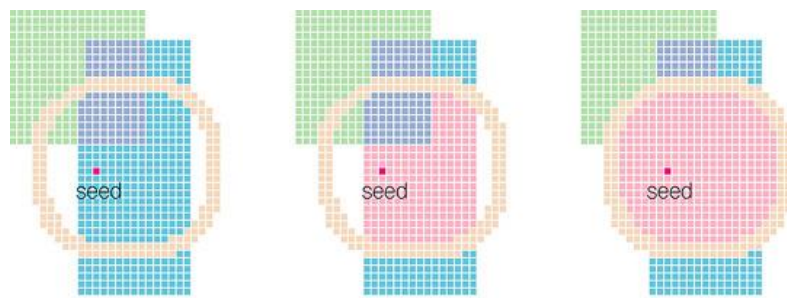
- 다각형에서 각 에지의 벡터 방향은 꼭짓점이 주어진 순서에 따라 정해진다
 - 각 주사선에서 아래쪽 방향의 모서리와 교차 → 1 증가
 - 각 주사선에서 위쪽 방향의 모서리와 교차 → 1 감소
- 에지와 주사선의 교차점의 합을 구한다.
 - 합이 0이면 → 외부
 - 합이 0이 아니면 → 내부
- 특징:
 - 다각형 모서리의 방향에 따라 내부와 외부영역을 지정해줄 수가 있다.
 - 홀짝 규칙보다 약간 복잡, 도형 설계에서 자유롭게 내부와 외부 영역 지정 가능, 정교한 드로잉 소프트웨어에서 많이 사용



영역 및 다각형 채우기

- 시드 채우기 (Seed fill) 방식

- 다각형 내부의 한 점 (x, y) 가 seed로 주어진다.
- 이 점을 중심으로 이웃 픽셀이 영역의 내부에 있는지를 판단하여 영역 채우기를 한다.
- 내부 영역에 대한 판단
 - Interior-defined: 같은 값을 가지고, 연결된 픽셀들을 내부 영역으로 판단 → 범람 채우기 (Flood Fill)
 - Boundary-defined: 경계의 안쪽에 위치하는 픽셀들을 내부 영역으로 판단 → 경계 채우기 (Boundary Fill)



주어진 시드

범람 채우기
(Flood-fill)

경계 채우기
(Boundary-fill)

- 알고리즘 진행 방법

- 내부의 한 점 시드(seed)를 스택에 저장한다
- Seed pixel을 중심으로 4방향 또는 8방향의 이웃 픽셀에 대해 내부의 점인지를 확인
- 재귀적 함수 (Recursive) 사용하여 이웃한 픽셀들을 검사해 나간다.

영역 및 다각형 채우기

• 범람 채우기 알고리즘

```
void flood_fill (int x, int y)
{
    if (read_pixel (x, y) == bgColor)
    {
        write_pixel (x, y, fillColor);
        flood_fill (x+1, y);
        flood_fill (x-1, y);
        flood_fill (x, y+1);
        flood_fill (x, y-1);
    }
}
```

// 시드 (x, y) 에서 시작

// 현재 픽셀이 배경색 'bgColor'이면,
// bgColor가 아니면 종료
// 채우기 색 'fillColor'로 칠한다.
// 오른쪽으로 반복
// 왼쪽으로 반복
// 아래로 반복
// 위로 반복

• 경계 채우기 알고리즘

```
void boundary_fill(int x, int y)
{
    current = read_pixel(x, y);
    if ((current != bdColor)
        && (current != fillColor))
    {
        write_pixel (x, y, fillColor);
        boundary_fill (x+1, y);
        boundary_fill (x-1, y);
        boundary_fill (x, y+1);
        boundary_fill (x, y-1);
    }
}
```

// 시드 (x, y) 에서 시작

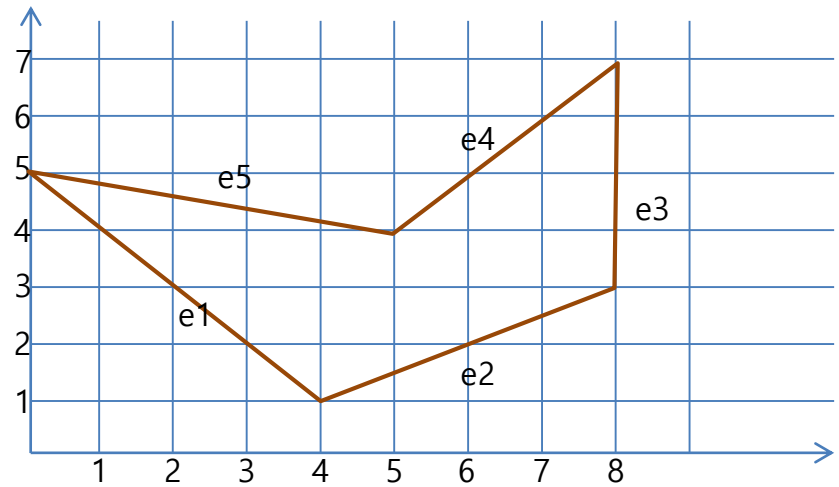
// 경계 및 채울 색인지 확인
// 경계색이면 종료

// 내부를 채우기 색 'fillColor'로 칠한다.
// 오른쪽으로 반복
// 왼쪽으로 반복
// 아래로 반복
// 위로 반복

영역 및 다각형 채우기

- 다각형 주사 변환 방식 (Polygon scan-conversion)
 - 매 주사선마다 교차되는 edge(에지, 모서리)들의 목록을 유지, 갱신하여 영역을 설정한다.
 - 가장 대표적인 방법: **y-x 다각형 주사선 알고리즘**
 - Edge list
 - 1) **에지 목록 - EL (Edge List)**: 다각형의 전체 edge의 목록
 - 시작점의 y 좌표값 (더 작은 y 값) 순서로 다각형의 전체 에지를 정렬하여 전체 에지의 EL 구성
 - 매 주사선에서 교차하는 에지를 EL에서 꺼내어 AEL로 옮겨 관리
 - 2) **활성화된 에지 목록 - AEL (Active Edge List)**: 각 주사선과 교차하여 활성화 된 edge 목록
 - 해당 주사선과 각 에지와의 교차점의 x값을 구한 후 2개 씩 짝을 만들어 이들 사이를 채운다.
- 그리기가 완료된 AEL내의 에지를 찾아서 제거
 - AEL의 에지 중 아래쪽 점의 y 좌표가 주사선의 y좌표보다 작게 되면 EL에서 제거

영역 및 다각형 채우기



- e1 (0, 5) (4, 1)
- e2 (4, 1) (8, 3)
- e3 (8, 3) (8, 7)
- e4 (8, 7) (5, 4)
- e5 (0, 5) (5, 4)

EL = {e1, e2, e3, e4, e5} -> 시작점의 y값 (작은 값)에 따라 정렬: {e2, e1, e3, e5, e4}

- y=1: AEL = {e2, e1}
- y=2: AEL = {e2, e1}
- y=3: AEL = {e2, e2, e3}
- y=4: AEL = {e1, e3, e5, e4 }
- y=5: AEL = {e1, e3, e5, e4 }
- y=6: AEL = {e3, e4}
- y=7: AEL = {e3, e4}
- y=8: AEL = { }

영역 및 다각형 채우기

- Y-X 다각형 주사선 알고리즘의 특징

- Y-X 알고리즘 : Y값 순서로 전체 에지 정렬, 교차점은 X 좌표값 순서로 정렬
- 효율성 : 에지의 목록에 대한 부분적인 일관성(Coherence)으로 발생

- Y-X 다각형 주사선 알고리즘

1) 초기화를 한다.

각 에지들을 Y좌표의 최소값 순서로 정렬하여 Edge List(EL)를 구성한다.

2) 매 주사선 y_k 에서 다음을 수행한다.

a) AEL을 갱신한다.

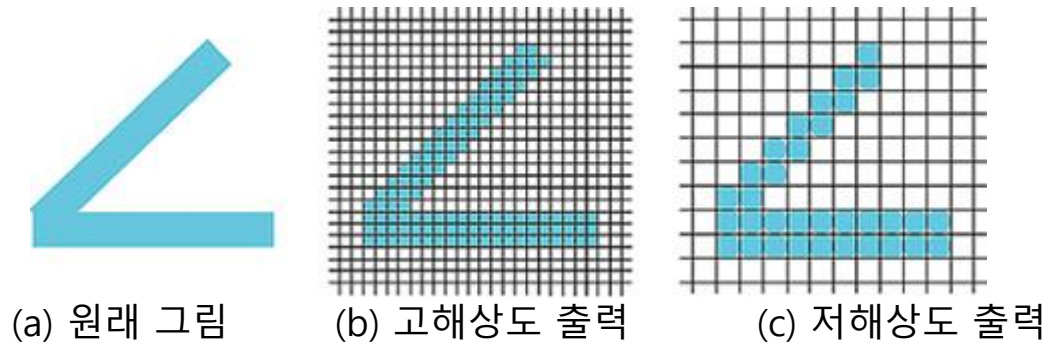
AEL에서 $y_b < y_k$ 인 에지를 삭제하고, // 완료된 에지 삭제
EL에서 $y_a = y_k$ 인 에지를 AEL로 이동한다. // 새로운 에지 삽입
단, AEL 과 EL에 더 이상의 에지가 없으면 종료한다.

b) AEL에서 각 에지의 교차점을 계산한다.

c) 교차점 x값을 정렬한 후 각 쌍을 결정하여 그 사이를 채운다

안티 앨리어싱

- 래스터 출력의 문제점
 - 앨리어싱 효과
 - 계단 현상 (jaggies, aliasing)
 - 모양이 들쭉 날쭉하고 선이 움직일 때 위치가 바뀐다.
 - 앨리어싱이 생기는 이유
 - 아날로그 방식의 그림을 디지털 화 하는데 샘플링 오차가 발생
 - 저해상도의 출력장치에서 두드러진다.



안티 앨리어싱

- 안티 앨리어싱(Antialiasing)

- 컬러 또는 회색조(Gray) 출력 장치에서 경계가 부드럽게 보이도록 하는 기법
- 안티 앨리어싱 방법:
 - 해상도를 높인다. → 물리적 해상도의 한계
 - 물체의 경계 픽셀에서 물체와 배경의 색상을 혼합해서 그린다.
- 선 그리기, 다각형 채우기, 문자 생성 등에 적용이 가능

- 안티 앨리어싱 기법

- 샘플링 레이트를 높이는 방법
 - 샘플링의 숫자를 높인다
 - SSAA, MSAA 등
- 후처리 기법
 - 렌더링 후 후처리 시 적용하는 방법
 - FXAA, MLAA 등

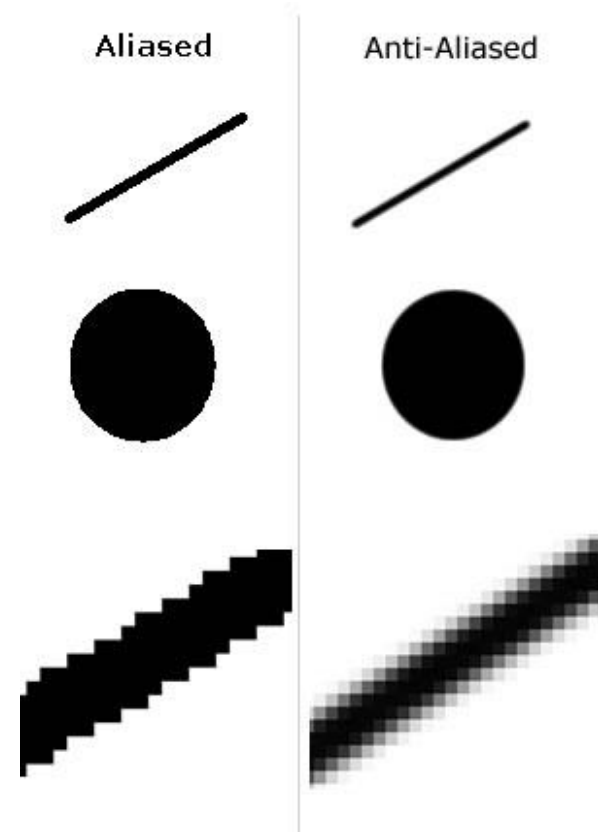
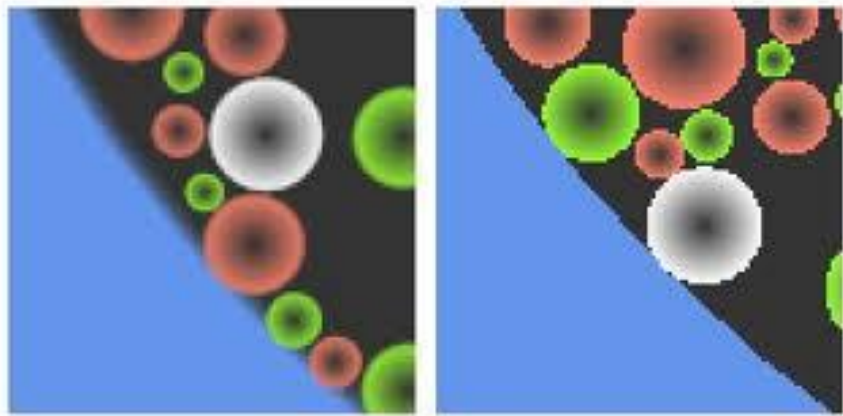
ABCDE
ABCDE

앨리어싱 효과

안티앨리어싱 효과



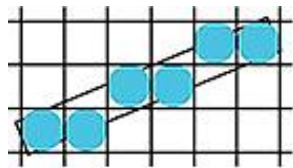
안티 앨리어싱



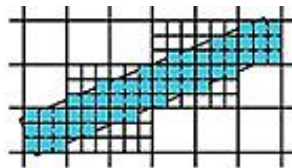
안티 앨리어싱

- 수퍼 샘플링 (Super sampling Anti Aliasing, SSAA) 기법

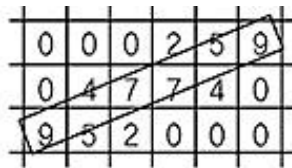
- 출력 장치의 해상도보다 고해상도에서 그림을 자세히 표현할 수 있도록 하나의 픽셀 영역을 여러 개로 분할하는 기법.
- 원래의 해상도로 환원할 때 픽셀의 명암값을 계산하여 보여준다.
 - 픽셀의 영역에 포함되는 고해상도 픽셀의 개수에 비례하여 명암값을 계산



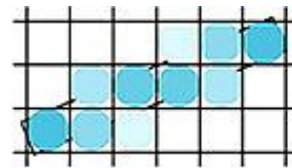
(a) 원래 해상도



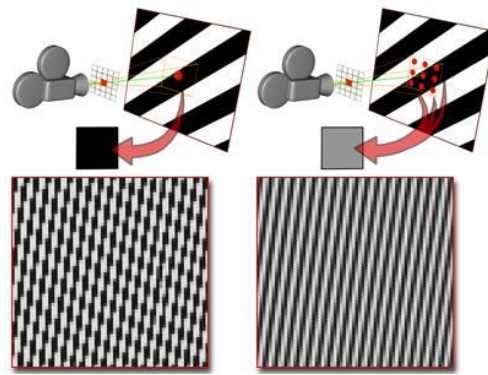
(b) 수퍼샘플링



(c) 각 픽셀의 명암 값



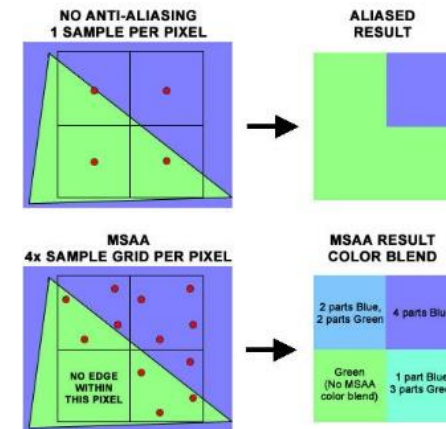
(d) 출력 결과



안티 앨리어싱

- 멀티 샘플링 기법 (Multi Sampling Anti Aliasing, MSAA)

- 슈퍼 샘플링 기법을 효율과 성능면에서 최적화 한 샘플링 기법
- 폴리곤의 외곽선이 지나가는 곳만 적용한다.
- 각 픽셀 당 1개 이상의 샘플링 정보를 사용하여 명암값을 조정
- 대부분의 응용 프로그램에서 사용하는 알고리즘 기법



- 그 외,

- FXAA (Fast Approximate Anti Aliasing)
 - NVIDIA 에서 출시한 기법으로 렌더링 된 그래픽에서 주변 픽셀에서 밝기 차이를 계산하고 주변 픽셀의 색을 혼합하는 방식
- MLAA (Morphological Anti Aliasing)
 - 이미지 기반의 후처리 방식 기법
 - 렌더링 후 외곽선을 찾아 외곽선의 픽셀들을 블렌딩 하는 방식
- NFAA (Normal Filter Anti Aliasing)
 - 가장자리 찾기를 위하여 필터를 적용한 셰이더 기반의 후처리 기법
- CSAA (Coverage Sampling Anti Aliasing)
 - 범위 형태의 샘플링으로 MSAA와 비슷
- 그 외에도 많은 기법이 있고, 계속 연구 중

안티 앨리어싱



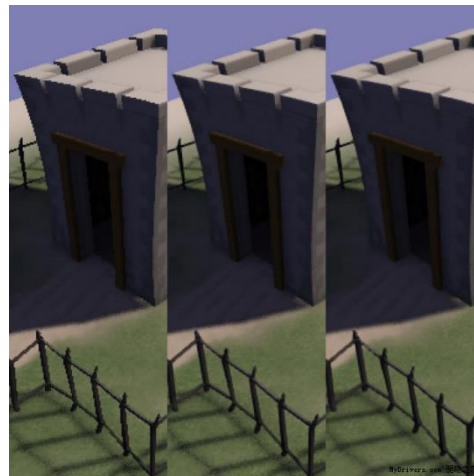
Final Fantasy XIV에서 MLAA 기법을 적용한 결과
출처: Geeks3D

Without multisampling

With multisampling (MSAAx8)



Multi Sampling Anti Aliasing
출처: vulkan tutorial



AA없음 / MSAA / FXAA
출처: NVIDIA

2장에서는

- 2차원 그래픽스 기본요소
 - 점, 선, 원 그리기
 - 영역 채우기
 - 다각형 내부 판단 규칙
 - 앨리어싱/안티 앨리어싱
- 다음 시간에는
 - 2차원 변환