

# NA-HW #06

2015004693\_양상현

## Goal:

- **Uniform Distribution Random Number Generator [ran1()]**
- **Gaussian Distribution Random Number Generator [gasdev()]**

위 2가지 Random Number Generator 함수를 이용하여 [-3,2] Boundary 내에서 Uniform Distribution과, Mean = -0.5, Standard Deviation = 1.5 인 Gaussian Distribution을 만족하는 난수를 생성해보고, 난수의 Sample 갯수에 따라 달라지는 Distribution의 차이를 관찰해본다..

## Background Knowledge:

**Uniform Distribution**은 말그대로 [-3,2] 범위내의 난수가 모두 같은 비율로 분포되어 있음을 뜻한다. 이미 NR에서 구현되어 있는 'ran1()' 함수는 0.0 에서 1.0 사이의 난수를 uniformly distributed 하게 생성한다. 이를 잘 이용하여 [-3,2] 범위안에서의 uniformly distributed 한 난수를 쉽게 생성할 수 있다.

**Gaussian Distribution(Normal Distribution)**는 난수의 생성에서 가우스분포(정규분포)의 비율로 난수가 생성되는 것이다. 가우스분포(정규분포)는 평균값을 0 으로 하고 표준편차가 1인 분포이고,  $N(0,1)$  로 나타내기도 한다. 기본적으로 NR에서 구현되어있는 'gasdev()' 함수는  $N(0,1)$  분포를 만족하는 난수를 생성하는 함수이다. 정규분포는  $Z = (X-m)/s$  를 이용하여 정규화 되는데, 이 Z값을 편집하여 우리가 원하는 범위인 [-3,2]안에서 평균(m)이 -0.5, 표준편차(s) 가 1.5인 정규분포를 쉽게 생성할 수 있다.

## Process:

**Uniform Distribution**과 **Gaussian Distribution** 을 만족하는 난수를 생성하기 위해 'ran1()' 함수와 'gasdev()'함수를 사용하였고, 'hw06.c'파일을 생성하여 **Gaussian Distribution**과 **Uniform Distribution**을 한번에 구현하였다.

[-3,2]범위 안에서 **Uniform Distribution**을 만족하는 난수의 생성은 간단한 수학적식인  $(2-(-3))*\text{ran1()}-3$  으로 생성할 수 있다. 실제 구현부분에서는 100000만개나 되는 난수 샘플들을 일일이 출력하기엔 어려움이 있어서  $(\text{int})(\text{ran1()}*100)$  로 0에서 100 사이의 정수를 샘플의 갯수 만큼 생성하고 100개의 interval을 의미하는 'distributionU[i][100]'배열에 각각 인덱스에 각각 생성된 정

수의 갯수를 저장한 후 저장된 숫자를 그래프로 출력하여 분포를 확인하는 방식으로 구현을 하였다. 이때 100개의 interval은 [-3,2]구간을 100등분으로 나눈 것을 의미하고, 한 interval의 크기는 0.05가 된다. 'distributionU[i][0]'은 [-3.00~-2.95] 구간에 속한 난수의 갯수, 'distributionU[i][1]'은 [-2.95~-2.90] 구간에 속한 난수의 갯수, 'distributionU[i][2]'은 [-2.90~-2.85] 구간에 속한 난수의 갯수, 'distributionU[i][99]'는 [1.95~2.00] 구간에 속한 난수의 갯수를 각각 의미한다.

**Gaussian Distribution**을 만족하는 난수의 생성은 **Uniform Distribution** 보다 더 복잡하게 구현해야 한다. 'gasdev()' 함수는  $N(0,1)$ 을 만족하는 난수를 생성하는 함수이다. 우리가 원하는 정규분포는 평균이 -0.5, 표준편차가 1.5인 정규분포이기 때문에 이 함수의 결과값을 이용하여 추가적인 연산을 해주어야 한다. 앞에서 언급했듯이  $Z = (X-m)/s$  이고,  $N(0,1)$ 에선  $m=0, s=1$ 이 된다. 'gasdev()' 함수는 Z값을 반환하므로 우리가 원하는 X값을 얻기 위해선  $gasdev()*1.5-0.5$ 의 계산이 필요하고 이를 통해 평균이 0.5이고 표준편차가 1.5인 정규분포를 만족하는 난수를 생성할 수 있다. Gaussian Distribution의 경우 Uniform Distribution과 다르게 난수의 범위가 [-무한대,무한대]이기 때문에 우리가 임의로 난수의 범위를 한정할 수 없다. 항상 [-3,2] 범위안에 있는 숫자만 생성하게 하는 것이 불가능하기 때문에 이 범위를 벗어나는 난수가 생성 되었을 때 예외처리를 해주는 부분이 필요하다.  $gasdev()*1.5-0.5$  식으로 인해 계산된  $N(-0.5,1.5^2)$ 을 만족하는 난수가 생성되면 [-3,2] 범위를 100개의 interval로 나누고 이를 'distributionG[i][100]'에 저장하기 위해 위에서와 비슷한 방법으로 계산된 난수를 다시 [0.0~99.999] 범위내의 숫자로 만드는 작업을 해준다. 이때  $(X+3)*20$  식을 사용한다( $X = gasdev()*1.5-0.5$ ). 만약 이 식의 결과값이 음수가 나오는 경우 이는 -3보다 작은 난수가 생성된 것이므로 negative-out-of-bound 로 표시해주고 만약 100보다 크거나 같은 숫자가 나오는 경우 2 보다 크거나 같은 난수가 생성된 것 이므로 positive-out-of-bound 로 표시해준다. [0,100]의 정상범위 안에 있을 경우 'distributionG[i][(int)X]'의 값을 1씩 올려 Uniform때와 마찬가지로 각 interval에 속한 난수의 갯수를 저장한다.

'distributionU[i][100]', 'distributionG[i][100]' 각각의 배열안에 저장된 숫자를 바탕으로 [-3,2]구간을 100개의 interval로 나뉘었을 때 각 interval안에 포함되는 난수의 갯수를 나타내는 Histogram을 그린다. Sample이 100, 1000 일 때는 Sample의 숫자가 크지 않기 때문에 배열값만큼 '\*'를 출력하여 주어 그래프의 모양으로 나타낸다. Sample의 갯수가 10000, 100000일때는 각각 배열값/2.0, 배열값/20.0으로 나눈뒤 반올림한 숫자 만큼 '\*'를 출력하여 그래프의 모양으로 나타낸다.

< hw06.c >, (중요한 부분은 빨간색으로 표시)

```
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>
#include <math.h>
#include <time.h>
#include "nr.h"
int main(){
    int i, j, k, inBound;
    int sample[4] = { 100, 1000, 10000, 100000 };
    float sampleDiv[4] = {1.0,1.0,2.0,20.0};
    int distributionU[4][100] = {0, };
    int distributionG[4][102] = {0, };
    int temp = 0;
    float temp1 = 0.0;
    float tempF = 0.0;

    clock_t T;
```

```

long Te = -500;
float rN, erN;

//uniform distribution
printf("\n -----< Uniform Distribution >----- \n\n");
for(j = 0; j < 4; j++){
    printf("> Sample : %d \n", sample[j]);
    for(i = 0; i < sample[j]; i++){
        T = clock();
        Te = (long)T + Te;
        rN = ran1(&Te);

        temp = (int)(rN*100); // temp:[0.0 ~ 99.99999]
        distributionU[j][temp]++;

    }
    printf("\n> distribution histogram : sample = %d , [-3,2] in 100 intervals \n",
sample[j]);

    for(i = 0; i < 100; i++){
        printf(" %4d", distributionU[j][i]);
        if(i%20 == 19){
            printf("\n");
        }
    }
    printf("\n Graph: \n");
    for(i = 0; i < 100; i++){
        tempF = (float)distributionU[j][i]/(float)sampleDiv[j];
        tempF = tempF+0.5; //반올림
        printf("%5.2f~%5.2f : ", -3.0+0.05*i, -3.0+0.05*(i+1));
        for(k = 0; k < (int)tempF; k++){
            printf("*");
        }
        printf("\n");
    }
    printf("\n-----\n");
}

tempF = 0.0;
Te = -500;
//Gaussian distribution
printf("\n -----< Gaussian Distribution >----- \n\n");
for(j = 0; j < 4; j++){
    inBound = 0;
    printf("> Sample : %d \n", sample[j]);
    for(i = 0; i < sample[j]; i++){
        T = clock();
        Te = (long)T + Te;
        rN = gasdev(&Te);

        erN = rN*1.5-0.5;

        temp1 = (erN+3.0)*20;

        if(temp1 < 0){
            distributionG[j][100]++; //out of bound negative
        }
        else if(temp1 >= 100){
            distributionG[j][101]++; //out of bound positive
        }
        else{
            distributionG[j][(int)temp1]++;
            inBound++;
        }
    }
    printf("\n> distribution histogram : sample = %d , [-3,2] in 100 intervals \n",
sample[j]);
    for(i = 0; i < 100; i++){
        printf(" %4d", distributionG[j][i]);
        if(i%20 == 19){
            printf("\n");
        }
    }
    printf("in bound [-3,2]: %d\n", inBound);
    printf("out of negative bound: %d && out of positive bound: %d\n", distributionG[j][100],
distributionG[j][101]);
    printf("\n\n Graph: \n");
}

```

```

        for(i = 0; i<100; i++){
            tempF = (float)distributionG[j][i]/(float)sampleDiv[j];
            tempF = tempF+0.5; //반올림
            printf("%5.2f~%5.2f : ", -3.0+0.05*i, -3.0+0.05*(i+1));
            for(k = 0; k<(int)tempF; k++){
                printf("*");
            }
            printf("\n");
        }
        printf("\n-----\n");
    }

    return 0;
}

```

## Results & Discussion:

*/\*출력되는 화면을 사진으로 첨부하려 하였으나 출력되는 양이 너무 많아 한번에 캡처하는 것이 불가능하여 ctrl C + V 로 출력 결과를 옮겨서 첨부합니다. 전체 출력은 txt파일로 따로 첨부합니다. (IDE: "Xcode", Macbook Pro 2015 Retina)\*/*

### -01. Sample = 100 : Uniform Distribution / ('\* = 1;)

|  |   |
|--|---|
| <pre> &gt; Sample : 100  &gt; distribution histogram : sample = 100 , [-3,2] in 100 intervals 1  0  0  1  2  0  3  2  1  2  0  0  1  1  2  0  0  0  0  1 2  0  0  1  2  1  1  1  1  2  0  1  3  1  0  0  1  0  3  1 0  3  0  2  3  0  0  0  0  2  0  1  5  0  3  0  1  0  2  1 0  1  3  3  2  3  1  3  2  0  1  0  0  1  2  1  1  0  0  0 0  0  1  1  1  0  0  0  1  1  1  1  1  3  0  1  1  0  0  2 </pre>  |   |
| <pre> Graph: -3.00~-2.95 : * -2.95~-2.90 : -2.90~-2.85 : -2.85~-2.80 : * -2.80~-2.75 : ** -2.75~-2.70 : -2.70~-2.65 : *** -2.65~-2.60 : ** -2.60~-2.55 : * -2.55~-2.50 : ** -2.50~-2.45 : -2.45~-2.40 : -2.40~-2.35 : * -2.35~-2.30 : * -2.30~-2.25 : ** -2.25~-2.20 : -2.20~-2.15 : -2.15~-2.10 : -2.10~-2.05 : -2.05~-2.00 : * -2.00~-1.95 : ** -1.95~-1.90 : -1.90~-1.85 : -1.85~-1.80 : * -1.80~-1.75 : ** -1.75~-1.70 : * -1.70~-1.65 : * -1.65~-1.60 : * -1.60~-1.55 : * -1.55~-1.50 : ** -1.50~-1.45 : -1.45~-1.40 : * -1.40~-1.35 : *** -1.35~-1.30 : * -1.30~-1.25 : -1.25~-1.20 : -1.20~-1.15 : * -1.15~-1.10 : -1.10~-1.05 : *** -1.05~-1.00 : * -1.00~-0.95 : -0.95~-0.90 : *** -0.90~-0.85 : -0.85~-0.80 : ** -0.80~-0.75 : *** -0.75~-0.70 : -0.70~-0.65 : -0.65~-0.60 : -0.60~-0.55 : -0.55~-0.50 : ** </pre> | <pre> -0.50~-0.45 : -0.45~-0.40 : * -0.40~-0.35 : ***** -0.35~-0.30 : -0.30~-0.25 : *** -0.25~-0.20 : -0.20~-0.15 : * -0.15~-0.10 : -0.10~-0.05 : ** -0.05~ 0.00 : * 0.00~ 0.05 : 0.05~ 0.10 : * 0.10~ 0.15 : *** 0.15~ 0.20 : *** 0.20~ 0.25 : ** 0.25~ 0.30 : *** 0.30~ 0.35 : * 0.35~ 0.40 : *** 0.40~ 0.45 : ** 0.45~ 0.50 : 0.50~ 0.55 : * 0.55~ 0.60 : 0.60~ 0.65 : 0.65~ 0.70 : * 0.70~ 0.75 : ** 0.75~ 0.80 : * 0.80~ 0.85 : * 0.85~ 0.90 : 0.90~ 0.95 : 0.95~ 1.00 : 1.00~ 1.05 : 1.05~ 1.10 : 1.10~ 1.15 : * 1.15~ 1.20 : * 1.20~ 1.25 : * 1.25~ 1.30 : 1.30~ 1.35 : 1.35~ 1.40 : 1.40~ 1.45 : * 1.45~ 1.50 : * 1.50~ 1.55 : * 1.55~ 1.60 : * 1.60~ 1.65 : * 1.65~ 1.70 : *** 1.70~ 1.75 : 1.75~ 1.80 : * 1.80~ 1.85 : * 1.85~ 1.90 : 1.90~ 1.95 : 1.95~ 2.00 : ** </pre> |

## -02. Sample = 1000 : Uniform Distribution / ('\*' = 1)

> Sample : 1000

> distribution histogram : sample = 1000 , [-3,2] in 100 intervals

|   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
|---|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| 7 | 9  | 10 | 11 | 11 | 11 | 15 | 11 | 12 | 7  | 10 | 12 | 6  | 5  | 10 | 12 | 12 | 13 | 12 | 10 |
| 8 | 11 | 10 | 8  | 10 | 5  | 12 | 7  | 8  | 4  | 15 | 13 | 12 | 9  | 9  | 10 | 9  | 10 | 12 | 8  |
| 8 | 8  | 12 | 9  | 8  | 14 | 6  | 8  | 11 | 16 | 8  | 3  | 9  | 11 | 4  | 5  | 11 | 9  | 9  | 9  |
| 9 | 8  | 7  | 10 | 8  | 13 | 10 | 10 | 15 | 10 | 15 | 12 | 13 | 8  | 9  | 12 | 12 | 12 | 10 | 12 |
| 6 | 11 | 11 | 5  | 10 | 9  | 6  | 14 | 15 | 8  | 13 | 10 | 13 | 12 | 15 | 12 | 11 | 6  | 10 | 14 |

Graph:

```

-3.00~-2.95 : *****
-2.95~-2.90 : *****
-2.90~-2.85 : *****
-2.85~-2.80 : *****
-2.80~-2.75 : *****
-2.75~-2.70 : *****
-2.70~-2.65 : *****
-2.65~-2.60 : *****
-2.60~-2.55 : *****
-2.55~-2.50 : *****
-2.50~-2.45 : *****
-2.45~-2.40 : *****
-2.40~-2.35 : *****
-2.35~-2.30 : *****
-2.30~-2.25 : *****
-2.25~-2.20 : *****
-2.20~-2.15 : *****
-2.15~-2.10 : *****
-2.10~-2.05 : *****
-2.05~-2.00 : *****
-2.00~-1.95 : *****
-1.95~-1.90 : *****
-1.90~-1.85 : *****
-1.85~-1.80 : *****
-1.80~-1.75 : *****
-1.75~-1.70 : *****
-1.70~-1.65 : *****
-1.65~-1.60 : *****
-1.60~-1.55 : *****
-1.55~-1.50 : *****
-1.50~-1.45 : *****
-1.45~-1.40 : *****
-1.40~-1.35 : *****
-1.35~-1.30 : *****
-1.30~-1.25 : *****
-1.25~-1.20 : *****
-1.20~-1.15 : *****
-1.15~-1.10 : *****
-1.10~-1.05 : *****
-1.05~-1.00 : *****
-1.00~-0.95 : *****
-0.95~-0.90 : *****
-0.90~-0.85 : *****
-0.85~-0.80 : *****
-0.80~-0.75 : *****
-0.75~-0.70 : *****
-0.70~-0.65 : *****
-0.65~-0.60 : *****
-0.60~-0.55 : *****
-0.55~-0.50 : *****
-0.50~-0.45 : *****
-0.45~-0.40 : *****
-0.40~-0.35 : *****
-0.35~-0.30 : *****
-0.30~-0.25 : *****
-0.25~-0.20 : *****
-0.20~-0.15 : *****
-0.15~-0.10 : *****
-0.10~-0.05 : *****
-0.05~-0.00 : *****
0.00~0.05 : *****
0.05~0.10 : *****
0.10~0.15 : *****
0.15~0.20 : *****
0.20~0.25 : *****
0.25~0.30 : *****
0.30~0.35 : *****
0.35~0.40 : *****
0.40~0.45 : *****
0.45~0.50 : *****
0.50~0.55 : *****
0.55~0.60 : *****
0.60~0.65 : *****
0.65~0.70 : *****
0.70~0.75 : *****
0.75~0.80 : *****
0.80~0.85 : *****
0.85~0.90 : *****
0.90~0.95 : *****
0.95~1.00 : *****
1.00~1.05 : *****
1.05~1.10 : *****
1.10~1.15 : *****
1.15~1.20 : *****
1.20~1.25 : *****
1.25~1.30 : *****
1.30~1.35 : *****
1.35~1.40 : *****
1.40~1.45 : *****
1.45~1.50 : *****
1.50~1.55 : *****
1.55~1.60 : *****
1.60~1.65 : *****
1.65~1.70 : *****
1.70~1.75 : *****
1.75~1.80 : *****
1.80~1.85 : *****
1.85~1.90 : *****
1.90~1.95 : *****
1.95~2.00 : *****

```

### -03. Sample = 10000 : Uniform Distribution / ('\*' = 2;)

```
> Sample : 10000

> distribution histogram : sample = 10000 , [-3,2] in 100 intervals
  85 101 113 98 95 111 114 97 86 116 107 92 105 99 87 124 93 99 91 97
  83 95 102 117 87 87 87 100 106 85 97 93 98 77 92 98 80 99 106 97
  86 114 96 90 105 94 80 94 112 88 118 100 113 127 101 101 106 109 96 112
  100 102 82 95 111 91 94 96 123 101 83 101 90 120 87 120 88 98 104 84
  101 115 103 104 109 108 103 105 101 116 89 101 114 103 103 116 109 96 97 99

Graph:
-3.00~-2.95 : *****
-2.95~-2.90 : *****
-2.90~-2.85 : *****
-2.85~-2.80 : *****
-2.80~-2.75 : *****
-2.75~-2.70 : *****
-2.70~-2.65 : *****
-2.65~-2.60 : *****
-2.60~-2.55 : *****
-2.55~-2.50 : *****
-2.50~-2.45 : *****
-2.45~-2.40 : *****
-2.40~-2.35 : *****
-2.35~-2.30 : *****
-2.30~-2.25 : *****
-2.25~-2.20 : *****
-2.20~-2.15 : *****
-2.15~-2.10 : *****
-2.10~-2.05 : *****
-2.05~-2.00 : *****
-2.00~-1.95 : *****
-1.95~-1.90 : *****
-1.90~-1.85 : *****
-1.85~-1.80 : *****
-1.80~-1.75 : *****
-1.75~-1.70 : *****
-1.70~-1.65 : *****
-1.65~-1.60 : *****
-1.60~-1.55 : *****
-1.55~-1.50 : *****
-1.50~-1.45 : *****
-1.45~-1.40 : *****
-1.40~-1.35 : *****
-1.35~-1.30 : *****
-1.30~-1.25 : *****
-1.25~-1.20 : *****
-1.20~-1.15 : *****
-1.15~-1.10 : *****
-1.10~-1.05 : *****
-1.05~-1.00 : *****
-1.00~-0.95 : *****
-0.95~-0.90 : *****
-0.90~-0.85 : *****
-0.85~-0.80 : *****
-0.80~-0.75 : *****
-0.75~-0.70 : *****
-0.70~-0.65 : *****
-0.65~-0.60 : *****
-0.60~-0.55 : *****
-0.55~-0.50 : *****
-0.50~-0.45 : *****
-0.45~-0.40 : *****
-0.40~-0.35 : *****
-0.35~-0.30 : *****
-0.30~-0.25 : *****
-0.25~-0.20 : *****
-0.20~-0.15 : *****
-0.15~-0.10 : *****
-0.10~-0.05 : *****
-0.05~-0.00 : *****
0.00~0.05 : *****
0.05~0.10 : *****
0.10~0.15 : *****
0.15~0.20 : *****
0.20~0.25 : *****
0.25~0.30 : *****
0.30~0.35 : *****
0.35~0.40 : *****
0.40~0.45 : *****
0.45~0.50 : *****
0.50~0.55 : *****
0.55~0.60 : *****
0.60~0.65 : *****
0.65~0.70 : *****
0.70~0.75 : *****
0.75~0.80 : *****
0.80~0.85 : *****
0.85~0.90 : *****
0.90~0.95 : *****
0.95~1.00 : *****
1.00~1.05 : *****
1.05~1.10 : *****
1.10~1.15 : *****
1.15~1.20 : *****
1.20~1.25 : *****
1.25~1.30 : *****
1.30~1.35 : *****
1.35~1.40 : *****
1.40~1.45 : *****
1.45~1.50 : *****
1.50~1.55 : *****
1.55~1.60 : *****
1.60~1.65 : *****
1.65~1.70 : *****
1.70~1.75 : *****
1.75~1.80 : *****
1.80~1.85 : *****
1.85~1.90 : *****
1.90~1.95 : *****
1.95~2.00 : *****
```

#### -04. Sample = 100000 : Uniform Distribution / ('\*' = 20;)

```
> Sample : 100000

> distribution histogram : sample = 100000 , [-3,2] in 100 intervals
1044 1002 1041 964 1015 1041 983 1011 1050 969 1083 1012 1013 1021 972 1004 1014 994 1037 1020
994 1028 1021 989 1025 983 1010 1011 970 1009 1014 1015 1006 954 1048 974 963 1023 1026 1056
976 973 969 992 988 977 973 990 1001 988 1002 973 988 1066 1008 967 932 974 1015 1033
951 973 1037 987 1023 1000 949 1029 969 1062 1019 949 944 1004 987 998 1022 994 1026 960
1006 991 1006 947 989 982 987 1023 1017 946 998 980 979 1009 1035 1006 1006 1066 939 1011

Graph:
-3.00~-2.95 : *****
-2.95~-2.90 : *****
-2.90~-2.85 : *****
-2.85~-2.80 : *****
-2.80~-2.75 : *****
-2.75~-2.70 : *****
-2.70~-2.65 : *****
-2.65~-2.60 : *****
-2.60~-2.55 : *****
-2.55~-2.50 : *****
-2.50~-2.45 : *****
-2.45~-2.40 : *****
-2.40~-2.35 : *****
-2.35~-2.30 : *****
-2.30~-2.25 : *****
-2.25~-2.20 : *****
-2.20~-2.15 : *****
-2.15~-2.10 : *****
-2.10~-2.05 : *****
-2.05~-2.00 : *****
-2.00~-1.95 : *****
-1.95~-1.90 : *****
-1.90~-1.85 : *****
-1.85~-1.80 : *****
-1.80~-1.75 : *****
-1.75~-1.70 : *****
-1.70~-1.65 : *****
-1.65~-1.60 : *****
-1.60~-1.55 : *****
-1.55~-1.50 : *****
-1.50~-1.45 : *****
-1.45~-1.40 : *****
-1.40~-1.35 : *****
-1.35~-1.30 : *****
-1.30~-1.25 : *****
-1.25~-1.20 : *****
-1.20~-1.15 : *****
-1.15~-1.10 : *****
-1.10~-1.05 : *****
-1.05~-1.00 : *****
-1.00~-0.95 : *****
-0.95~-0.90 : *****
-0.90~-0.85 : *****
-0.85~-0.80 : *****
-0.80~-0.75 : *****
-0.75~-0.70 : *****
-0.70~-0.65 : *****
-0.65~-0.60 : *****
-0.60~-0.55 : *****
-0.55~-0.50 : *****
-0.50~-0.45 : *****
-0.45~-0.40 : *****
-0.40~-0.35 : *****
-0.35~-0.30 : *****
-0.30~-0.25 : *****
-0.25~-0.20 : *****
-0.20~-0.15 : *****
-0.15~-0.10 : *****
-0.10~-0.05 : *****
-0.05~-0.00 : *****
0.00~ 0.05 : *****
0.05~ 0.10 : *****
0.10~ 0.15 : *****
0.15~ 0.20 : *****
0.20~ 0.25 : *****
0.25~ 0.30 : *****
0.30~ 0.35 : *****
0.35~ 0.40 : *****
0.40~ 0.45 : *****
0.45~ 0.50 : *****
0.50~ 0.55 : *****
0.55~ 0.60 : *****
0.60~ 0.65 : *****
0.65~ 0.70 : *****
0.70~ 0.75 : *****
0.75~ 0.80 : *****
0.80~ 0.85 : *****
0.85~ 0.90 : *****
0.90~ 0.95 : *****
0.95~ 1.00 : *****
1.00~ 1.05 : *****
1.05~ 1.10 : *****
1.10~ 1.15 : *****
1.15~ 1.20 : *****
1.20~ 1.25 : *****
1.25~ 1.30 : *****
1.30~ 1.35 : *****
1.35~ 1.40 : *****
1.40~ 1.45 : *****
1.45~ 1.50 : *****
1.50~ 1.55 : *****
1.55~ 1.60 : *****
1.60~ 1.65 : *****
1.65~ 1.70 : *****
1.70~ 1.75 : *****
1.75~ 1.80 : *****
1.80~ 1.85 : *****
1.85~ 1.90 : *****
1.90~ 1.95 : *****
1.95~ 2.00 : *****
```

-05. Sample = 100 : Gaussian Distribution w/ Mean=-0.5, StrdDeviation = 1.5 / ('\*' = 1;)

```
> Sample : 100
```

```
> distribution histogram : sample = 100 , [-3,2] in 100 intervals
```

```

0 0 1 0 0 0 1 1 1 0 0 1 0 0 2 1 0 0 1 0
1 1 0 0 1 0 1 1 1 3 3 1 1 0 2 3 0 1 1 1
1 0 0 1 1 5 1 0 0 1 4 4 2 1 1 2 1 0 0 0
0 2 4 2 2 2 0 1 0 2 0 1 2 2 2 1 1 0 2 0
0 1 0 0 0 0 0 0 1 0 0 1 0 2 2 0 1 1 0 1

```

```
in bound [-3,2]: 92
```

```
out of negative bound: 3 && out of positive bound: 5
```

```
Graph:
```

```

-3.00~-2.95 :
-2.95~-2.90 :
-2.90~-2.85 : *
-2.85~-2.80 :
-2.80~-2.75 :
-2.75~-2.70 :
-2.70~-2.65 : *
-2.65~-2.60 : *
-2.60~-2.55 : *
-2.55~-2.50 :
-2.50~-2.45 :
-2.45~-2.40 : *
-2.40~-2.35 :
-2.35~-2.30 :
-2.30~-2.25 : **
-2.25~-2.20 : *
-2.20~-2.15 :
-2.15~-2.10 :
-2.10~-2.05 : *
-2.05~-2.00 :
-2.00~-1.95 : *
-1.95~-1.90 : *
-1.90~-1.85 :
-1.85~-1.80 :
-1.80~-1.75 : *
-1.75~-1.70 :
-1.70~-1.65 : *
-1.65~-1.60 : *
-1.60~-1.55 : *
-1.55~-1.50 : ***
-1.50~-1.45 : ***
-1.45~-1.40 : *
-1.40~-1.35 : *
-1.35~-1.30 :
-1.30~-1.25 : **
-1.25~-1.20 : ***
-1.20~-1.15 :
-1.15~-1.10 : *
-1.10~-1.05 : *
-1.05~-1.00 : *
-1.00~-0.95 : *
-0.95~-0.90 :
-0.90~-0.85 :
-0.85~-0.80 : *
-0.80~-0.75 : *
-0.75~-0.70 : *****
-0.70~-0.65 : *
-0.65~-0.60 :
-0.60~-0.55 :
-0.55~-0.50 : *
-0.50~-0.45 : ****
-0.45~-0.40 : ****
-0.40~-0.35 : **
-0.35~-0.30 : **
-0.30~-0.25 : *
-0.25~-0.20 : **
-0.20~-0.15 : *
-0.15~-0.10 :
-0.10~-0.05 :
-0.05~ 0.00 :
0.00~ 0.05 :
0.05~ 0.10 : ***
0.10~ 0.15 : ****
0.15~ 0.20 : **
0.20~ 0.25 : **
0.25~ 0.30 : **
0.30~ 0.35 :
0.35~ 0.40 : *
0.40~ 0.45 :
0.45~ 0.50 : **
0.50~ 0.55 :
0.55~ 0.60 : *
0.60~ 0.65 : **
0.65~ 0.70 : **
0.70~ 0.75 : **
0.75~ 0.80 : *
0.80~ 0.85 : *
0.85~ 0.90 :
0.90~ 0.95 : **
0.95~ 1.00 :
1.00~ 1.05 :
1.05~ 1.10 : *
1.10~ 1.15 :
1.15~ 1.20 :
1.20~ 1.25 :
1.25~ 1.30 :
1.30~ 1.35 :
1.35~ 1.40 :
1.40~ 1.45 : *
1.45~ 1.50 :
1.50~ 1.55 :
1.55~ 1.60 : *
1.60~ 1.65 :
1.65~ 1.70 : **
1.70~ 1.75 : **
1.75~ 1.80 :
1.80~ 1.85 : *
1.85~ 1.90 : *
1.90~ 1.95 :
1.95~ 2.00 : *

```



-06. Sample = 1000 : Gaussian Distribution w/ Mean=-0.5, StrdDeviation = 1.5 / ('\*' = 1;)

> Sample : 1000

> distribution histogram : sample = 1000 , [-3,2] in 100 intervals

```

  2   4   1   1   5   8   5   1   5   5   4   7   4   5   7   7   6   8   9   8
  5   8   9   5  12  10   9  11   4  13   7  11  12   8   7  12  10  18  12  14
 16  16  21  10  12  10  14  16  18  20  14  12  14  20   7  19  12  11  13  17
 17  14  12   9  13  18  13  13  14  13  10   9  13  10   9   5  11  13   4   6
  6   6   5   5   4  10   3   7   3   5   5   5   5   1   5   5   2   4   4   4

```

in bound [-3,2]: 911

out of negative bound: 40 && out of positive bound: 49

```

Graph:
-3.00~-2.95 : **
-2.95~-2.90 : ****
-2.90~-2.85 : *
-2.85~-2.80 : *
-2.80~-2.75 : *****
-2.75~-2.70 : *****
-2.70~-2.65 : *****
-2.65~-2.60 : *
-2.60~-2.55 : *****
-2.55~-2.50 : *****
-2.50~-2.45 : *****
-2.45~-2.40 : *****
-2.40~-2.35 : *****
-2.35~-2.30 : *****
-2.30~-2.25 : *****
-2.25~-2.20 : *****
-2.20~-2.15 : *****
-2.15~-2.10 : *****
-2.10~-2.05 : *****
-2.05~-2.00 : *****
-2.00~-1.95 : *****
-1.95~-1.90 : *****
-1.90~-1.85 : *****
-1.85~-1.80 : *****
-1.80~-1.75 : *****
-1.75~-1.70 : *****
-1.70~-1.65 : *****
-1.65~-1.60 : *****
-1.60~-1.55 : *****
-1.55~-1.50 : *****
-1.50~-1.45 : *****
-1.45~-1.40 : *****
-1.40~-1.35 : *****
-1.35~-1.30 : *****
-1.30~-1.25 : *****
-1.25~-1.20 : *****
-1.20~-1.15 : *****
-1.15~-1.10 : *****
-1.10~-1.05 : *****
-1.05~-1.00 : *****
-1.00~-0.95 : *****
-0.95~-0.90 : *****
-0.90~-0.85 : *****
-0.85~-0.80 : *****
-0.80~-0.75 : *****
-0.75~-0.70 : *****
-0.70~-0.65 : *****
-0.65~-0.60 : *****
-0.60~-0.55 : *****
-0.55~-0.50 : *****
-0.50~-0.45 : *****
-0.45~-0.40 : *****
-0.40~-0.35 : *****
-0.35~-0.30 : *****
-0.30~-0.25 : *****
-0.25~-0.20 : *****
-0.20~-0.15 : *****
-0.15~-0.10 : *****
-0.10~-0.05 : *****
-0.05~-0.00 : *****
0.00~ 0.05 : *****
0.05~ 0.10 : *****
0.10~ 0.15 : *****
0.15~ 0.20 : *****
0.20~ 0.25 : *****
0.25~ 0.30 : *****
0.30~ 0.35 : *****
0.35~ 0.40 : *****
0.40~ 0.45 : *****
0.45~ 0.50 : *****
0.50~ 0.55 : *****
0.55~ 0.60 : *****
0.60~ 0.65 : *****
0.65~ 0.70 : *****
0.70~ 0.75 : *****
0.75~ 0.80 : *****
0.80~ 0.85 : *****
0.85~ 0.90 : *****
0.90~ 0.95 : *****
0.95~ 1.00 : *****
1.00~ 1.05 : *****
1.05~ 1.10 : *****
1.10~ 1.15 : *****
1.15~ 1.20 : *****
1.20~ 1.25 : *****
1.25~ 1.30 : *****
1.30~ 1.35 : *****
1.35~ 1.40 : *****
1.40~ 1.45 : ***
1.45~ 1.50 : *****
1.50~ 1.55 : *****
1.55~ 1.60 : *****
1.60~ 1.65 : *****
1.65~ 1.70 : *
1.70~ 1.75 : *****
1.75~ 1.80 : *****
1.80~ 1.85 : **
1.85~ 1.90 : *****
1.90~ 1.95 : *****
1.95~ 2.00 : *****

```

**-07. Sample = 10000 : Gaussian Distribution w/ Mean=-0.5, StrdDeviation = 1.5 / ('\*' = 2;)**

```
> Sample : 10000
```

```
> distribution histogram : sample = 10000 , [-3,2] in 100 intervals
```

```

39 35 37 39 46 37 47 49 54 52 44 44 55 71 56 56 70 71 55 70
83 87 87 91 93 103 93 98 121 105 121 106 111 113 127 110 122 114 111 123
114 116 119 124 139 122 122 140 132 158 124 145 134 128 147 129 116 132 147 118
123 141 144 115 113 120 115 118 127 100 100 111 107 92 83 89 96 89 83 97
81 81 66 68 71 63 63 53 58 69 46 37 42 30 31 42 44 34 43

```

```
in bound [-3,2]: 9005
```

```
out of negative bound: 509 && out of positive bound: 486
```

```

Graph:
-3.00~-2.95 : *****
-2.95~-2.90 : *****
-2.90~-2.85 : *****
-2.85~-2.80 : *****
-2.80~-2.75 : *****
-2.75~-2.70 : *****
-2.70~-2.65 : *****
-2.65~-2.60 : *****
-2.60~-2.55 : *****
-2.55~-2.50 : *****
-2.50~-2.45 : *****
-2.45~-2.40 : *****
-2.40~-2.35 : *****
-2.35~-2.30 : *****
-2.30~-2.25 : *****
-2.25~-2.20 : *****
-2.20~-2.15 : *****
-2.15~-2.10 : *****
-2.10~-2.05 : *****
-2.05~-2.00 : *****
-2.00~-1.95 : *****
-1.95~-1.90 : *****
-1.90~-1.85 : *****
-1.85~-1.80 : *****
-1.80~-1.75 : *****
-1.75~-1.70 : *****
-1.70~-1.65 : *****
-1.65~-1.60 : *****
-1.60~-1.55 : *****
-1.55~-1.50 : *****
-1.50~-1.45 : *****
-1.45~-1.40 : *****
-1.40~-1.35 : *****
-1.35~-1.30 : *****
-1.30~-1.25 : *****
-1.25~-1.20 : *****
-1.20~-1.15 : *****
-1.15~-1.10 : *****
-1.10~-1.05 : *****
-1.05~-1.00 : *****
-1.00~-0.95 : *****
-0.95~-0.90 : *****
-0.90~-0.85 : *****
-0.85~-0.80 : *****
-0.80~-0.75 : *****
-0.75~-0.70 : *****
-0.70~-0.65 : *****
-0.65~-0.60 : *****
-0.60~-0.55 : *****
-0.55~-0.50 : *****
-0.50~-0.45 : *****
-0.45~-0.40 : *****
-0.40~-0.35 : *****
-0.35~-0.30 : *****
-0.30~-0.25 : *****
-0.25~-0.20 : *****
-0.20~-0.15 : *****
-0.15~-0.10 : *****
-0.10~-0.05 : *****
-0.05~ 0.00 : *****
 0.00~ 0.05 : *****
 0.05~ 0.10 : *****
 0.10~ 0.15 : *****
 0.15~ 0.20 : *****
 0.20~ 0.25 : *****
 0.25~ 0.30 : *****
 0.30~ 0.35 : *****
 0.35~ 0.40 : *****
 0.40~ 0.45 : *****
 0.45~ 0.50 : *****
 0.50~ 0.55 : *****
 0.55~ 0.60 : *****
 0.60~ 0.65 : *****
 0.65~ 0.70 : *****
 0.70~ 0.75 : *****
 0.75~ 0.80 : *****
 0.80~ 0.85 : *****
 0.85~ 0.90 : *****
 0.90~ 0.95 : *****
 0.95~ 1.00 : *****
 1.00~ 1.05 : *****
 1.05~ 1.10 : *****
 1.10~ 1.15 : *****
 1.15~ 1.20 : *****
 1.20~ 1.25 : *****
 1.25~ 1.30 : *****
 1.30~ 1.35 : *****
 1.35~ 1.40 : *****
 1.40~ 1.45 : *****
 1.45~ 1.50 : *****
 1.50~ 1.55 : *****
 1.55~ 1.60 : *****
 1.60~ 1.65 : *****
 1.65~ 1.70 : *****
 1.70~ 1.75 : *****
 1.75~ 1.80 : *****
 1.80~ 1.85 : *****
 1.85~ 1.90 : *****
 1.90~ 1.95 : *****
 1.95~ 2.00 : *****

```

-08. Sample = 100000 : Gaussian Distribution w/ Mean=-0.5, StrdDeviation = 1.5 / ('\*' = 20;)

> Sample : 100000

> distribution histogram : sample = 100000 , [-3,2] in 100 intervals

```
330 341 349 395 465 465 480 490 463 528 576 618 615 642 661 667 742 741 755 749
835 828 803 942 924 1019 957 1025 1022 1062 1102 1093 1112 1204 1140 1170 1217 1143 1209 1265
1309 1252 1319 1303 1306 1298 1280 1339 1370 1341 1331 1302 1273 1293 1367 1327 1297 1319 1228 1353
1277 1227 1162 1251 1224 1085 1184 1154 1068 1073 1112 980 1002 998 945 864 862 879 842 823
803 715 714 691 703 652 631 591 548 523 561 521 513 510 474 408 355 364 379 325
```

in bound [-3,2]: 90344

out of negative bound: 4779 && out of positive bound: 4877

Graph:

```
-3.00~-2.95 : *****
-2.95~-2.90 : *****
-2.90~-2.85 : *****
-2.85~-2.80 : *****
-2.80~-2.75 : *****
-2.75~-2.70 : *****
-2.70~-2.65 : *****
-2.65~-2.60 : *****
-2.60~-2.55 : *****
-2.55~-2.50 : *****
-2.50~-2.45 : *****
-2.45~-2.40 : *****
-2.40~-2.35 : *****
-2.35~-2.30 : *****
-2.30~-2.25 : *****
-2.25~-2.20 : *****
-2.20~-2.15 : *****
-2.15~-2.10 : *****
-2.10~-2.05 : *****
-2.05~-2.00 : *****
-2.00~-1.95 : *****
-1.95~-1.90 : *****
-1.90~-1.85 : *****
-1.85~-1.80 : *****
-1.80~-1.75 : *****
-1.75~-1.70 : *****
-1.70~-1.65 : *****
-1.65~-1.60 : *****
-1.60~-1.55 : *****
-1.55~-1.50 : *****
-1.50~-1.45 : *****
-1.45~-1.40 : *****
-1.40~-1.35 : *****
-1.35~-1.30 : *****
-1.30~-1.25 : *****
-1.25~-1.20 : *****
-1.20~-1.15 : *****
-1.15~-1.10 : *****
-1.10~-1.05 : *****
-1.05~-1.00 : *****
-1.00~-0.95 : *****
-0.95~-0.90 : *****
-0.90~-0.85 : *****
-0.85~-0.80 : *****
-0.80~-0.75 : *****
-0.75~-0.70 : *****
-0.70~-0.65 : *****
-0.65~-0.60 : *****
-0.60~-0.55 : *****
-0.55~-0.50 : *****
-0.50~-0.45 : *****
-0.45~-0.40 : *****
-0.40~-0.35 : *****
-0.35~-0.30 : *****
-0.30~-0.25 : *****
-0.25~-0.20 : *****
-0.20~-0.15 : *****
-0.15~-0.10 : *****
-0.10~-0.05 : *****
-0.05~ 0.00 : *****
 0.00~ 0.05 : *****
 0.05~ 0.10 : *****
 0.10~ 0.15 : *****
 0.15~ 0.20 : *****
 0.20~ 0.25 : *****
 0.25~ 0.30 : *****
 0.30~ 0.35 : *****
 0.35~ 0.40 : *****
 0.40~ 0.45 : *****
 0.45~ 0.50 : *****
 0.50~ 0.55 : *****
 0.55~ 0.60 : *****
 0.60~ 0.65 : *****
 0.65~ 0.70 : *****
 0.70~ 0.75 : *****
 0.75~ 0.80 : *****
 0.80~ 0.85 : *****
 0.85~ 0.90 : *****
 0.90~ 0.95 : *****
 0.95~ 1.00 : *****
 1.00~ 1.05 : *****
 1.05~ 1.10 : *****
 1.10~ 1.15 : *****
 1.15~ 1.20 : *****
 1.20~ 1.25 : *****
 1.25~ 1.30 : *****
 1.30~ 1.35 : *****
 1.35~ 1.40 : *****
 1.40~ 1.45 : *****
 1.45~ 1.50 : *****
 1.50~ 1.55 : *****
 1.55~ 1.60 : *****
 1.60~ 1.65 : *****
 1.65~ 1.70 : *****
 1.70~ 1.75 : *****
 1.75~ 1.80 : *****
 1.80~ 1.85 : *****
 1.85~ 1.90 : *****
 1.90~ 1.95 : *****
 1.95~ 2.00 : *****
```

## -Overall Discussion

Uniform Distribution 과 Gaussian Distribution을 각각 만족하는 Random Number를 생성함에 있어서 아래와 같은 결론을 도출해낼 수 있었다.

- Sample의 갯수가 많아질수록 (당연하게도) 히스토그램(그래프)이 더 자연스럽고 정확하게 그려지는 양상을 보이고, (역시 당연하게도) 실행 시간이 더 오래 걸리게 된다. 시간과 정확성(Random한 숫자들이 원하는 분포에 맞게 잘 분포 되어있는 정도 혹은 히스토그램의 정확성)은 서로 Trade-off 관계이다. 이와 같은 이유로 Uniform Distribution과 Gaussian Distribution 모두 표본(Sample)의 크기가 어느정도 크기 이상이 되어야 올바른 결과를 출력할 수 있다. (위에서 언급된 결과 출력 화면에서도 Sample이 10000 이상 정도 되어야 이론(수학식)과 어느정도 일치하는 모양의 히스토그램을 얻을 수 있다.)
- 'ran1()'함수와 'gasdev()'함수 모두 'long \*' 형태의 parameter를 사용하는데, 여기서 이 parameter가 'Seed'의 역할을 하게 된다. 이 'Seed' 값이 Random Number Generator 함수가 호출될 때마다 다른 값을 가져야 중복없이 Pure한 Random Number가 생성이 된다. 처음에는 이를 초기에만 설정해주었는데, 그 결과로 첫 20~30 개의 Sample 이후에는 계속해서 같은 값들이 출력이 되는 결과를 야기해서 이를 해결하기 위해 이 Seed값을 Random Number Generator 함수가 호출될 때마다 계속해서 바꿔주도록 구현 하였다. 이로 인해 중복되는 Random Number가 발생하는 문제가 해결되었다.