龙与地下城 (dnd) 解题报告

quailty

2017 年 5 月 10 日

龙与地下城 (dnd.c/cpp/pas)

给定 X 和 Y，掷出 Y 个 X 面骰子，每个骰子等概率显示 $0, 1, 2, ..., X-1$ 中的一个数字，现在有 10 次询问 (A, B)，求出这 Y 个骰子显示的数字之和在 $[A, B]$ 内的概率，10 组数据，其中不超过 2 组大数据。

20 分做法

- 对于第 1 到第 4 个测试点，$X \leq 20$，$Y \leq 1600$。

20 分做法

- 对于第 1 到第 4 个测试点，$X \leq 20$，$Y \leq 1600$。
- $dp_{i,j}$ 表示 i 个数之和为 j 的概率，那么 $0 \leq j \leq (X-1)i$。

20 分做法

- 对于第 1 到第 4 个测试点，$X \leq 20$，$Y \leq 1600$。
- $dp_{i,j}$ 表示 i 个数之和为 j 的概率，那么 $0 \leq j \leq (X-1)i$。
- 前缀和优化。

20 分做法

- 对于第 1 到第 4 个测试点，$X \le 20$，$Y \le 1600$。
- $dp_{i,j}$ 表示 i 个数之和为 j 的概率，那么 $0 \le j \le (X-1)i$。
- 前缀和优化。
- 复杂度 $O(XY^2)$。

30 分做法

- 对于第 11 和第 12 个测试点，$X = 2$，$Y \leq 200000$。

30 分做法

- 对于第 11 和第 12 个测试点，$X = 2$，$Y \leq 200000$。
- 和为 i 相当于 Y 个数中有 i 个数是 1，概率是 $\frac{\binom{Y}{i}}{2^Y}$。

30 分做法

- 对于第 11 和第 12 个测试点，$X = 2$，$Y \le 200000$。
- 和为 i 相当于 Y 个数中有 i 个数是 1，概率是 $\frac{\binom{Y}{i}}{2^Y}$。
- 答案是 $\sum_{i=A}^{B} \frac{\binom{Y}{i}}{2^Y}$，需要取 log 来保证精度。

30 分做法

- 对于第 11 和第 12 个测试点，$X=2$，$Y\leq 200000$。
- 和为 i 相当于 Y 个数中有 i 个数是 1，概率是 $\frac{\binom{Y}{i}}{2^Y}$。
- 答案是 $\sum_{i=A}^{B}\frac{\binom{Y}{i}}{2^Y}$，需要取 log 来保证精度。
- 复杂度预处理 $O(Y)$，单次询问 $O(B-A)$。

60 分做法

- 对于第 5 到第 10 个测试点，$X \leq 20$， $Y \leq 8000$。

60 分做法

- 对于第 5 到第 10 个测试点，$X \leq 20$，$Y \leq 8000$。
- 可以观察到 $dp_{i,j}$ 在 j 接近 $\frac{(X-1)i}{2}$ 时比较大，并且往两侧递减很快。

60 分做法

- 对于第 5 到第 10 个测试点，$X \leq 20$，$Y \leq 8000$。
- 可以观察到 $dp_{i,j}$ 在 j 接近 $\frac{(X-1)i}{2}$ 时比较大，并且往两侧递减很快。
- 考虑设定一个 ϵ，舍去两侧概率小于 ϵ 的状态。

60 分做法

- ϵ 怎么取？

60 分做法

- ϵ 怎么取？
- $\epsilon = 10^{-9}$？$\epsilon = 10^{-12}$？

60 分做法

- ϵ 怎么取？
- $\epsilon = 10^{-9}$？$\epsilon = 10^{-12}$？
- 需要考虑误差的积累，但是并不容易分析。

60 分做法

- ϵ 怎么取？
- $\epsilon = 10^{-9}$？$\epsilon = 10^{-12}$？
- 需要考虑误差的积累，但是并不容易分析。
- 对拍！选出跑得足够快又能保证误差在允许范围内的 ϵ。

60 分做法

- ϵ 怎么取？
- $\epsilon = 10^{-9}$? $\epsilon = 10^{-12}$?
- 需要考虑误差的积累，但是并不容易分析。
- 对拍！选出跑得足够快又能保证误差在允许范围内的 ϵ。
- 实测取 $\epsilon = 10^{-12}$ 是可以通过这部分测试点的。

60 分做法

- ϵ 怎么取？
- $\epsilon = 10^{-9}$？$\epsilon = 10^{-12}$？
- 需要考虑误差的积累，但是并不容易分析。
- 对拍！选出跑得足够快又能保证误差在允许范围内的 ϵ。
- 实测取 $\epsilon = 10^{-12}$ 是可以通过这部分测试点的。
- 复杂度？

60 分做法

- Central limit theorem (中心极限定理)

60 分做法

- Central limit theorem (中心极限定理)
- 设随机变量 $X_1, X_2, ..., X_n$ 独立同分布，且具有有限的期望 $E(X_i) = \mu$ 和方差 $D(X_i) = \sigma^2 > 0$。

60 分做法

- Central limit theorem (中心极限定理)
- 设随机变量 $X_1, X_2, ..., X_n$ 独立同分布，且具有有限的期望 $E(X_i) = \mu$ 和方差 $D(X_i) = \sigma^2 > 0$。
- 记 $\bar{X} = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} X_i$，$\zeta_n = \frac{\bar{X}-\mu}{\sigma/\sqrt{n}}$，则 $\lim_{n\to\infty} P(\zeta_n \le z) = \Phi(z)$。

60 分做法

- Central limit theorem (中心极限定理)
- 设随机变量 $X_1, X_2, \ldots, X_n$ 独立同分布，且具有有限的期望 $E(X_i) = \mu$ 和方差 $D(X_i) = \sigma^2 > 0$。
- 记 $\bar{X} = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} X_i$，$\zeta_n = \frac{\bar{X}-\mu}{\sigma/\sqrt{n}}$，则 $\lim_{n\to\infty} P(\zeta_n \le z) = \Phi(z)$。
- 其中 $\Phi(z) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{z} e^{-t^2/2} dt$ 是标准正态分布的分布函数。

60 分做法

- Central limit theorem (中心极限定理)
- 设随机变量 $X_1, X_2, \ldots, X_n$ 独立同分布，且具有有限的期望 $E(X_i) = \mu$ 和方差 $D(X_i) = \sigma^2 > 0$。
- 记 $\bar{X} = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} X_i$，$\zeta_n = \frac{\bar{X}-\mu}{\sigma/\sqrt{n}}$，则 $\lim_{n\to\infty} P(\zeta_n \le z) = \Phi(z)$。
- 其中 $\Phi(z) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{z} e^{-t^2/2} dt$ 是标准正态分布的分布函数。
- 参见 https://en.wikipedia.org/wiki/Central_limit_theorem

60 分做法

- 当 i 比较小时，状态数本来就比较少。

60 分做法

- 当 i 比较小时，状态数本来就比较少。
- 当 i 比较大时，用正态分布来估计概率。

60 分做法

- 当 i 比较小时，状态数本来就比较少。
- 当 i 比较大时，用正态分布来估计概率。
- 记 $t = \frac{j/i-\mu}{\sigma/\sqrt{i}}$，那么有 $dp_{i,j} \approx \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-t^2/2}$。

60 分做法

- 当 i 比较小时，状态数本来就比较少。
- 当 i 比较大时，用正态分布来估计概率。
- 记 $t = \frac{j/i-\mu}{\sigma/\sqrt{i}}$，那么有 $dp_{i,j} \approx \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-t^2/2}$。
- 当 $dp_{i,j} < \epsilon$ 时，可以认为有 $\frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-t^2/2} < \epsilon$。

60 分做法

- 当 i 比较小时，状态数本来就比较少。
- 当 i 比较大时，用正态分布来估计概率。
- 记 $t = \frac{j/i-\mu}{\sigma/\sqrt{i}}$，那么有 $dp_{i,j} \approx \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-t^2/2}$。
- 当 $dp_{i,j} < \epsilon$ 时，可以认为有 $\frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-t^2/2} < \epsilon$。
- 可得 $|j - i\mu| > \sigma\sqrt{-2i\log(\epsilon\sqrt{2\pi})}$。

60 分做法

- 当 i 比较小时，状态数本来就比较少。
- 当 i 比较大时，用正态分布来估计概率。
- 记 $t = \frac{j/i-\mu}{\sigma/\sqrt{i}}$，那么有 $dp_{i,j} \approx \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-t^2/2}$。
- 当 $dp_{i,j} < \epsilon$ 时，可以认为有 $\frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-t^2/2} < \epsilon$。
- 可得 $|j - i\mu| > \sigma\sqrt{-2i\log(\epsilon\sqrt{2\pi})}$。
- 对于较大的 i，有效状态数是 $O(X\sqrt{-2i\log(\epsilon\sqrt{2\pi})})$ 的。

60 分做法

- 当 i 比较小时，状态数本来就比较少。
- 当 i 比较大时，用正态分布来估计概率。
- 记 $t = \frac{j/i-\mu}{\sigma/\sqrt{i}}$，那么有 $dp_{i,j} \approx \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-t^2/2}$。
- 当 $dp_{i,j} < \epsilon$ 时，可以认为有 $\frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-t^2/2} < \epsilon$。
- 可得 $|j - i\mu| > \sigma\sqrt{-2i\log(\epsilon\sqrt{2\pi})}$。
- 对于较大的 i，有效状态数是 $O(X\sqrt{-2i\log(\epsilon\sqrt{2\pi})})$ 的。
- 复杂度 $O(XY\sqrt{-2Y\log(\epsilon\sqrt{2\pi})})$。

60 分做法

- 当 i 比较小时，状态数本来就比较少。
- 当 i 比较大时，用正态分布来估计概率。
- 记 $t = \frac{j/i-\mu}{\sigma/\sqrt{i}}$，那么有 $dp_{i,j} \approx \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-t^2/2}$。
- 当 $dp_{i,j} < \epsilon$ 时，可以认为有 $\frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-t^2/2} < \epsilon$。
- 可得 $|j - i\mu| > \sigma\sqrt{-2i\log(\epsilon\sqrt{2\pi})}$。
- 对于较大的 i，有效状态数是 $O(X\sqrt{-2i\log(\epsilon\sqrt{2\pi})})$ 的。
- 复杂度 $O(XY\sqrt{-2Y\log(\epsilon\sqrt{2\pi})})$。
- 实测在数据类型是 double 且 $\epsilon = 10^{-100}$ 的情况下有效状态数不超过 9×10^7。

100 分做法

- 对于第 13 到第 20 个测试点，$x \le 20$，$Y \le 200000$。

100 分做法

- 对于第 13 到第 20 个测试点，$x \leq 20$， $Y \leq 200000$。
- Central limit theorem (中心极限定理)

100 分做法

- 对于第 13 到第 20 个测试点，$x \leq 20$，$Y \leq 200000$。
- Central limit theorem (中心极限定理)
- 如果 Y 比较小，同 60 分做法。

100 分做法

- 对于第 13 到第 20 个测试点，$x \leq 20$，$Y \leq 200000$。
- Central limit theorem (中心极限定理)
- 如果 Y 比较小，同 60 分做法。
- 否则考虑用中心极限定理去近似计算概率。

100 分做法

- 对于第 13 到第 20 个测试点，$x \le 20$， $Y \le 200000$。
- Central limit theorem (中心极限定理)
- 如果 Y 比较小，同 60 分做法。
- 否则考虑用中心极限定理去近似计算概率。
- Y 的阈值怎么取？

100 分做法

- 对于第 13 到第 20 个测试点，$x \le 20$，$Y \le 200000$。
- Central limit theorem (中心极限定理)
- 如果 Y 比较小，同 60 分做法。
- 否则考虑用中心极限定理去近似计算概率。
- Y 的阈值怎么取？
- ~~卡时大法好。~~

100 分做法

- 对于第 13 到第 20 个测试点，$x \le 20$， $Y \le 200000$。
- Central limit theorem (中心极限定理)
- 如果 Y 比较小，同 60 分做法。
- 否则考虑用中心极限定理去近似计算概率。
- Y 的阈值怎么取？
- ~~卡时大法好。~~
- 可以根据后面提到的定理进行分析。

100 分做法

- 记 $l = \frac{(A-1)/Y-\mu}{\sigma/\sqrt{Y}}$， $r = \frac{B/Y-\mu}{\sigma/\sqrt{Y}}$。

100 分做法

- 记 $l = \frac{(A-1)/Y-\mu}{\sigma/\sqrt{Y}}$，$r = \frac{B/Y-\mu}{\sigma/\sqrt{Y}}$。
- 答案是 $\Phi(r) - \Phi(l) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_l^r e^{-t^2/2} dt$。

100 分做法

- 记 $l = \frac{(A-1)/Y-\mu}{\sigma/\sqrt{Y}}$， $r = \frac{B/Y-\mu}{\sigma/\sqrt{Y}}$。
- 答案是 $\Phi(r) - \Phi(l) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_l^r e^{-t^2/2} dt$。
- 没有初等表达式。

100 分做法

- 记 $l = \frac{(A-1)/Y-\mu}{\sigma/\sqrt{Y}}$， $r = \frac{B/Y-\mu}{\sigma/\sqrt{Y}}$。
- 答案是 $\Phi(r) - \Phi(l) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_l^r e^{-t^2/2} dt$。
- 没有初等表达式。
- 自适应 simpson 积分。

100 分做法

- 记 $l = \frac{(A-1)/Y-\mu}{\sigma/\sqrt{Y}}$， $r = \frac{B/Y-\mu}{\sigma/\sqrt{Y}}$。
- 答案是 $\Phi(r) - \Phi(l) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_l^r e^{-t^2/2} dt$。
- 没有初等表达式。
- 自适应 simpson 积分。
- 一个 trick 是由于峰比较窄，积分区间比较大的时候可能出现 $l, \frac{3l+r}{4}, \frac{l+r}{2}, \frac{l+3r}{4}, r$ 五处的函数值都几乎为零，但是峰在积分区间内的情况，这会导致答案错误。

100 分做法

- 记 $l = \frac{(A-1)/Y-\mu}{\sigma/\sqrt{Y}}$， $r = \frac{B/Y-\mu}{\sigma/\sqrt{Y}}$。
- 答案是 $\Phi(r) - \Phi(l) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_l^r e^{-t^2/2} dt$。
- 没有初等表达式。
- 自适应 simpson 积分。
- 一个 trick 是由于峰比较窄，积分区间比较大的时候可能出现 $l, \frac{3l+r}{4}, \frac{l+r}{2}, \frac{l+3r}{4}, r$ 五处的函数值都几乎为零，但是峰在积分区间内的情况，这会导致答案错误。
- 改为计算 $\frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_0^r e^{-t^2/2} dt - \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_0^l e^{-t^2/2} dt$ 即可。

100 分做法

- 误差分析？

100 分做法

- 误差分析？
- 函数是光滑的，自适应 simpson 积分的误差会很小。

100 分做法

- 误差分析？
- 函数是光滑的，自适应 simpson 积分的误差会很小。
- 主要考虑利用中心极限定理近似带来的误差。

100 分做法

- Berry–Esseen theorem

100 分做法

- Berry–Esseen theorem
- 设随机变量 $X_1, X_2, \ldots, X_n$ 独立同分布，且满足 $E(X_i) = 0, E(X_i^2) = \sigma^2 > 0, E(|X_i|^3) = \rho < \infty$。

100 分做法

- Berry–Esseen theorem
- 设随机变量 $X_1, X_2, \ldots, X_n$ 独立同分布，且满足 $E(X_i) = 0, E(X_i^2) = \sigma^2 > 0, E(|X_i|^3) = \rho < \infty$。
- 定义 $Y_n = \frac{X_1+X_2+\ldots+X_n}{n}$，$F_n$ 是 $\frac{Y_n\sqrt{n}}{\sigma}$ 的概率分布函数。

100 分做法

- Berry–Esseen theorem
- 设随机变量 $X_1, X_2, \ldots, X_n$ 独立同分布，且满足 $E(X_i) = 0, E(X_i^2) = \sigma^2 > 0, E(|X_i|^3) = \rho < \infty$。
- 定义 $Y_n = \frac{X_1+X_2+\ldots+X_n}{n}$，$F_n$ 是 $\frac{Y_n\sqrt{n}}{\sigma}$ 的概率分布函数。
- 则有 $|F_n(x) - \Phi(x)| \leq \frac{C\rho}{\sigma^3\sqrt{n}}$，其中 $C < 0.4748$ 是一个常数。

100 分做法

- Berry–Esseen theorem
- 设随机变量 $X_1, X_2, ..., X_n$ 独立同分布，且满足 $E(X_i) = 0, E(X_i^2) = \sigma^2 > 0, E(|X_i|^3) = \rho < \infty$。
- 定义 $Y_n = \frac{X_1+X_2+...+X_n}{n}$，$F_n$ 是 $\frac{Y_n\sqrt{n}}{\sigma}$ 的概率分布函数。
- 则有 $|F_n(x) - \Phi(x)| \leq \frac{C\rho}{\sigma^3\sqrt{n}}$，其中 $C < 0.4748$ 是一个常数。
- 参见 https://en.wikipedia.org/wiki/Berry-Esseen_theorem

100 分做法

- 本题中 $\frac{\rho}{\sigma^3} < 1.3$。

100 分做法

- 本题中 $\frac{\rho}{\sigma^3} < 1.3$。
- 只需要取 Y 的阈值为 7000 就能够保证精度了，稳妥一点可以取得更大，取到 8000 就对应上 60 分做法了。

拓展延伸

其他做法

- 随机撒点。

其他做法

- 随机撒点。
- 需要构造一个能等概率生成 $[0, X)$ 每个数的随机数生成器。

其他做法

- 随机撒点。
- 需要构造一个能等概率生成 $[0, X)$ 每个数的随机数生成器。
- 重复生成 Y 个数之后求和，这个过程重复足够多次。

其他做法

- 随机撒点。
- 需要构造一个能等概率生成 $[0, X)$ 每个数的随机数生成器。
- 重复生成 Y 个数之后求和，这个过程重复足够多次。
- 可以得到 5 分。

其他做法

- FFT。

其他做法

- FFT。
- 考虑多项式 $(\sum_{i=0}^{X-1}\frac{t^i}{X})^Y$。

其他做法

- FFT。
- 考虑多项式 $(\sum_{i=0}^{X-1} \frac{t^i}{X})^Y$。
- 答案就是 t^A 到 t^B 的系数之和。

其他做法

- FFT。
- 考虑多项式 $(\sum_{i=0}^{X-1} \frac{t^i}{X})^Y$。
- 答案就是 t^A 到 t^B 的系数之和。
- 倍增 FFT。

其他做法

- FFT。
- 考虑多项式 $(\sum_{i=0}^{X-1} \frac{t^i}{X})^Y$。
- 答案就是 t^A 到 t^B 的系数之和。
- 倍增 FFT。
- 复杂度 $O(XY\log(XY))$，需要注意常数。

其他做法

- FFT。
- 考虑多项式 $(\sum_{i=0}^{X-1} \frac{t^i}{X})^Y$。
- 答案就是 t^A 到 t^B 的系数之和。
- 倍增 FFT。
- 复杂度 $O(XY\log(XY))$，需要注意常数。
- 视 FFT 的实现情况可以得到 20 到 60 分。

其他做法

- FFT。
- 考虑多项式 $(\sum_{i=0}^{X-1} \frac{t^i}{X})^Y$。
- 答案就是 t^A 到 t^B 的系数之和。
- 倍增 FFT。
- 复杂度 $O(XY\log(XY))$，需要注意常数。
- 视 FFT 的实现情况可以得到 20 到 60 分。
- ~~对拍就是倍增 FFT 挂在服务器上跑的。~~

其他做法

- 推公式。

其他做法

- 推公式。
- 和为 i 的概率是 $P_i = \frac{1}{X^Y} \sum_{j=0}^{\lfloor i/X \rfloor} (-1)^j \binom{Y}{j} \binom{i-jX+Y-1}{Y-1}$。

其他做法

- 推公式。
- 和为 i 的概率是 $P_i = \frac{1}{X^Y}\sum_{j=0}^{\lfloor i/X \rfloor}(-1)^j\binom{Y}{j}\binom{i-jX+Y-1}{Y-1}$。
- 参见 http://mathworld.wolfram.com/Dice.html

其他做法

- 推公式。
- 和为 i 的概率是 $P_i = \frac{1}{X^Y}\sum_{j=0}^{\lfloor i/X \rfloor}(-1)^j\binom{Y}{j}\binom{i-jX+Y-1}{Y-1}$。
- 参见 http://mathworld.wolfram.com/Dice.html
- 答案是 $\sum_{i=A}^{B} P_i$ ~~需要取 log 来保证精度~~大概是没有救的。

其他做法

- 推公式。
- 和为 i 的概率是 $P_i = \frac{1}{X^Y} \sum_{j=0}^{\lfloor i/X \rfloor} (-1)^j \binom{Y}{j} \binom{i-jX+Y-1}{Y-1}$。
- 参见 http://mathworld.wolfram.com/Dice.html
- 答案是 $\sum_{i=A}^{B} P_i$ ~~需要取 log 来保证精度~~大概是没有救的。
- 复杂度预处理 $O(XY)$，单次询问 $O(Y(B-A))$。

其他做法

- 推公式。
- 和为 i 的概率是 $P_i = \frac{1}{X^Y}\sum_{j=0}^{\lfloor i/X \rfloor}(-1)^j\binom{Y}{j}\binom{i-jX+Y-1}{Y-1}$。
- 参见 http://mathworld.wolfram.com/Dice.html
- 答案是 $\sum_{i=A}^{B} P_i$ ~~需要取 log 来保证精度~~大概是没有救的。
- 复杂度预处理 $O(XY)$，单次询问 $O(Y(B-A))$。
- 可以得到 ~~50~~分。

精度提升

- 记 $l = \frac{(A-0.5)/Y-\mu}{\sigma/\sqrt{Y}}$， $r = \frac{(B+0.5)/Y-\mu}{\sigma/\sqrt{Y}}$。

精度提升

- 记 $l = \frac{(A-0.5)/Y-\mu}{\sigma/\sqrt{Y}}$， $r = \frac{(B+0.5)/Y-\mu}{\sigma/\sqrt{Y}}$。
- 用 $\Phi(r) - \Phi(l)$ 来近似效果会更好。

精度提升

- 记 $l = \frac{(A-0.5)/Y-\mu}{\sigma/\sqrt{Y}}$，$r = \frac{(B+0.5)/Y-\mu}{\sigma/\sqrt{Y}}$。
- 用 $\Phi(r) - \Phi(l)$ 来近似效果会更好。
- 打表可以看出此时误差可能是 $O(Y^{-1})$ 的。

精度提升

- 记 $l = \frac{(A-0.5)/Y-\mu}{\sigma/\sqrt{Y}}$，$r = \frac{(B+0.5)/Y-\mu}{\sigma/\sqrt{Y}}$。
- 用 $\Phi(r) - \Phi(l)$ 来近似效果会更好。
- 打表可以看出此时误差可能是 $O(Y^{-1})$ 的。
- 如果是连续的均匀分布，有定理指出误差确实是 $O(Y^{-1})$。

精度提升

- 记 $l = \frac{(A-0.5)/Y-\mu}{\sigma/\sqrt{Y}}$， $r = \frac{(B+0.5)/Y-\mu}{\sigma/\sqrt{Y}}$。
- 用 $\Phi(r) - \Phi(l)$ 来近似效果会更好。
- 打表可以看出此时误差可能是 $O(Y^{-1})$ 的。
- 如果是连续的均匀分布，有定理指出误差确实是 $O(Y^{-1})$。
- 但对于离散的均匀分布，并没有找到任何结论。

小技巧

- Excel。

小技巧

- Excel。
- ~~如果现场没有 Excel 请忽略这一段。~~

小技巧

- Excel。
- ~~如果现场没有 Excel 请忽略这一段~~。
- 打表输出到 csv 文件用 Excel 绘制折线图。

小技巧

- Excel。
- ~~如果现场没有 Excel 请忽略这一段。~~
- 打表输出到 csv 文件用 Excel 绘制折线图。
- 当 Y 比较大时可以明显地观察出一条钟形曲线。

小技巧

- Excel。
- ~~如果现场没有 Excel 请忽略这一段。~~
- 打表输出到 csv 文件用 Excel 绘制折线图。
- 当 Y 比较大时可以明显地观察出一条钟形曲线。
- 尝试去拟合这条曲线来得到一些参数。

小技巧

- ~~doc 老师："你这题一行就能 AC。"~~不存在的。

小技巧

- ~~doc 老师："你这题一行就能 AC。"~~不存在的。
- $erf(x) = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_0^x e^{-t^2/2} dt$

小技巧

- ~~doc 老师："你这题一行就能 AC。"~~不存在的。
- $erf(x) = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_0^x e^{-t^2/2} dt$
- 参见 http://www.cplusplus.com/reference/cmath/erf/

Thank you!