

به نام خدا



تقریب خطی جدول جانشینی الگوریتم SNOW2.0

علی شیخ عطار
دکتر وحید امین غفاری

دانشکده مهندسی کامپیوتر علم و صنعت
۱۴۰۳

این document توضیحی جامع از کد ارائه‌شده و بهینه‌سازی‌های عملکردی آن است. هدف این کد محاسبه پایاس تقریب خطی **S-box** در الگوریتم **SNOW 2.0** است که شامل S-box الگوریتم AES و تبدیل MixColumns می‌شود.

تعریف کلی کد

در کد مراحل زیر را انجام می‌شود:

- پیش‌محاسبه جداول تبدیل برای بهینه‌سازی عملکرد MixColumns.
- تکرار روی ماسک‌های مختلف و محاسبه پایاس تقریب خطی برای هر ماسک.
- پردازش تمامی ورودی‌های ممکن ۳۲ بیتی برای هر ماسک.
- محاسبه برابری پاریتی (Parity) ورودی‌ها و خروجی‌های ماسک‌شده.
- شمارش تعداد تطابق‌ها که در آن پاریتی ورودی و خروجی یکسان است.
- محاسبه پایاس بر اساس این شمارش.
- نمایش پایاس و زمان اجرا برای هر ماسک.

توضیح دقیق کد

۱. وارد کردن هدرهای ضروری

```
#include <iostream>
#include <cstdint>
#include <vector>
#include <array>
#include <chrono>
#include <iomanip>
#include <cmath>
#include <omp.h>
#include <immintrin.h>
```

- وارد کردن هدرهای استاندارد و خاص سیستم که در برنامه استفاده می‌شوند.
- `<iostream>`: برای ورودی/خروجی.
- `<cstdint>`: برای استفاده از انواع داده‌ای با عرض ثابت، مثل `uint8_t` و `uint64_t`.
- `<vector>` و `<array>`: برای استفاده از کلاس‌های کانتینر.
- `<chrono>`: برای اندازه‌گیری زمان اجرا.
- `<iomanip>`: برای قالب‌بندی خروجی.
- `<cmath>`: برای توابع ریاضیاتی.
- `<omp.h>`: برای پردازش موازی با استفاده از OpenMP.
- `<immintrin.h>`: برای استفاده از دستورات SIMD (البته در این کد به طور مستقیم استفاده نشده است).

تعریف S-box الگوریتم AES

```
alignas(16) const uint8_t AES_SBOX[256] = {
    0x63, 0x7c, 0x77, 0x7b, 0xf2, 0x6b, 0x6f, 0xc5,
    0x30, 0x01, 0x67, 0x2b, 0xfe, 0xd7, 0xab, 0x76,
    0xca, 0x82, 0xc9, 0x7d, 0xfa, 0x59, 0x47, 0xf0,
    0xad, 0xd4, 0xa2, 0xaf, 0x9c, 0xa4, 0x72, 0xc0,
    0xb7, 0xfd, 0x93, 0x26, 0x36, 0x3f, 0xf7, 0xcc,
    0x34, 0xa5, 0xe5, 0xf1, 0x71, 0xd8, 0x31, 0x15,
    0x04, 0xc7, 0x23, 0xc3, 0x18, 0x96, 0x05, 0x9a,
    0x07, 0x12, 0x80, 0xe2, 0xeb, 0x27, 0xb2, 0x75,
    0x09, 0x83, 0x2c, 0x1a, 0x1b, 0x6e, 0x5a, 0xa0,
    0x52, 0x3b, 0xd6, 0xb3, 0x29, 0xe3, 0x2f, 0x84,
    0x53, 0xd1, 0x00, 0xed, 0x20, 0xfc, 0xb1, 0x5b,
    0x6a, 0xcb, 0xbe, 0x39, 0x4a, 0x4c, 0x58, 0xcf,
    0xd0, 0xef, 0xaa, 0xfb, 0x43, 0x4d, 0x33, 0x85,
    0x45, 0xf9, 0x02, 0x7f, 0x50, 0x3c, 0x9f, 0xa8,
    0x51, 0xa3, 0x40, 0x8f, 0x92, 0x9d, 0x38, 0xf5,
    0xbc, 0xb6, 0xda, 0x21, 0x10, 0xff, 0xf3, 0xd2,
    0xcd, 0x0c, 0x13, 0xec, 0x5f, 0x97, 0x44, 0x17,
    0xc4, 0xa7, 0x7e, 0x3d, 0x64, 0x5d, 0x19, 0x73,
    0x60, 0x81, 0x4f, 0xdc, 0x22, 0x2a, 0x90, 0x88,
    0x46, 0xee, 0xb8, 0x14, 0xde, 0x5e, 0x0b, 0xdb,
    0xe0, 0x32, 0x3a, 0x0a, 0x49, 0x06, 0x24, 0x5c,
    0xc2, 0xd3, 0xac, 0x62, 0x91, 0x95, 0xe4, 0x79,
    0xe7, 0xc8, 0x37, 0x6d, 0x8d, 0xd5, 0x4e, 0xa9,
    0x6c, 0x56, 0xf4, 0xea, 0x65, 0x7a, 0xae, 0x08,
    0xba, 0x78, 0x25, 0x2e, 0x1c, 0xa6, 0xb4, 0xc6,
    0xe8, 0xdd, 0x74, 0x1f, 0x4b, 0xbd, 0x8b, 0x8a,
    0x70, 0x3e, 0xb5, 0x66, 0x48, 0x03, 0xf6, 0x0e,
    0x61, 0x35, 0x57, 0xb9, 0x86, 0xc1, 0x1d, 0x9e,
    0xe1, 0xf8, 0x98, 0x11, 0x69, 0xd9, 0x8e, 0x94,
    0x9b, 0x1e, 0x87, 0xe9, 0xce, 0x55, 0x28, 0xdf,
    0x8c, 0xa1, 0x89, 0x0d, 0xbf, 0xe6, 0x42, 0x68,
    0x41, 0x99, 0x2d, 0x0f, 0xb0, 0x54, 0xbb, 0x16
};
```

- جعبه S در AES یک جعبه جایگشتی غیرخطی است که یک ورودی ۸ بیتی را به یک خروجی ۸ بیتی نگاشت می‌دهد.
- در SNOW 2.0، جعبه S از AES به عنوان بخش غیرخطی استفاده می‌شود.

alignas(16) چیست؟

- این دستور آرایه AES_SBOX را روی مرزهای حافظه ۱۶ بایتی تنظیم می‌کند و تضمین می‌کند که آدرس شروع آرایه مضربی از ۱۶ بایت باشد.
- این کار می‌تواند در سیستم‌هایی که از عملیات SIMD استفاده می‌کنند، عملکرد را بهبود بخشد.
- دسترسی به داده‌های تراز شده در برخی معماری‌ها سریع‌تر است.

تعریف ثابت‌ها

```
const uint64_t ms_n = 1ULL << 32;
```

- ms_n تعداد کل ورودی‌های ممکن ۳۲ بیتی (که برابر با 2^{32} است) را نشان می‌دهد.
- از آنجا که جعبه S روی ورودی‌های ۳۲ بیتی عمل می‌کند، باید تمام این ترکیب‌ها را پردازش کرد.

چگونه این کار انجام می‌شود:

- از عملگر شیفت چپ (>) استفاده شده تا مقدار 32 << 1ULL محاسبه شود. این مقدار عدد 1 را ۳۲ بیت به سمت چپ شیفت می‌دهد.
- این روش از تایپ اشتباه اعداد بزرگ جلوگیری می‌کند.

ضرب در میدان گالوا (gf_mul)

```
inline uint8_t gf_mul(uint8_t a, uint8_t b) {
    uint8_t p = 0;
    for (int i = 0; i < 8 && b; ++i) {
        if (b & 1)
            p ^= a;
        uint8_t hi_bit_set = a & 0x80;
        a <<= 1;
        if (hi_bit_set)
            a ^= 0x1B; // x^8 + x^4 + x^3 + x + 1
        b >>= 1;
    }
    return p;
}
```

- انجام ضرب دو بایت در میدان گالوا $GF(2^8)$ ، که برای تبدیل MixColumns ضروری است.

چگونه این کار انجام می‌شود:

- p برابر صفر قرار داده می‌شود تا حاصل ضرب را ذخیره کند.
- حلقه:
 - روی هر بیت b تکرار می‌کند.
 - اگر بیت مربوطه b مقدار ۱ داشته باشد، مقدار a به p اضافه می‌شود.
 - a در ۲ ضرب می‌شود (شیفت به چپ)، که شبیه ضرب در x در میدان گالوا است.
 - اگر بیت بالایی a قبل از شیفت مقدار ۱ داشت، a با چندجمله‌ای AES (0x1B) کاهش مدولار می‌شود.
 - b یک بیت به راست شیفت می‌شود تا بیت بعدی بررسی شود.
- مقدار p که حاصل ضرب نهایی است را برمیگرداند.
- چرا از **inline** استفاده شده:
 - پیشنهاد می‌کند که کامپایلر کد تابع را در محل فراخوانی گسترش دهد، که می‌تواند سربار فراخوانی تابع را کاهش دهد.

پیش‌محاسبه جداول تبدیل

```
void precompute_tables(std::array<std::array<uint8_t, 4>, 256>& T0,
                      std::array<std::array<uint8_t, 4>, 256>& T1,
                      std::array<std::array<uint8_t, 4>, 256>& T2,
                      std::array<std::array<uint8_t, 4>, 256>& T3) {
    uint8_t x = 0x02; // x
    uint8_t x1 = 0x03; // x + 1
    for (int a = 0; a < 256; ++a) {
        uint8_t SR = AES_SBOX[a];
        uint8_t mul_x_SR = gf_mul(x, SR);
        uint8_t mul_x1_SR = gf_mul(x1, SR);

        T0[a][0] = mul_x_SR;
        T0[a][1] = SR;
        T0[a][2] = SR;
        T0[a][3] = mul_x1_SR;

        T1[a][0] = mul_x1_SR;
        T1[a][1] = mul_x_SR;
        T1[a][2] = SR;
        T1[a][3] = SR;

        T2[a][0] = SR;
        T2[a][1] = mul_x1_SR;
        T2[a][2] = mul_x_SR;
        T2[a][3] = SR;

        T3[a][0] = SR;
        T3[a][1] = SR;
        T3[a][2] = mul_x1_SR;
        T3[a][3] = mul_x_SR;
    }
}
```

- تمام مقادیر مورد نیاز برای تبدیل MixColumns برای تمام مقادیر بایت‌های ممکن (۰ تا ۲۵۵) را پیش‌محاسبه می‌کند.
- این جداول (T0, T1, T2, T3) از محاسبات اضافی در زمان اجرا (online) جلوگیری می‌کنند و عملکرد را بهبود می‌دهند.

$$\begin{pmatrix} r0 \\ r1 \\ r2 \\ r3 \end{pmatrix} = S_R(w_0) \begin{pmatrix} x \\ 1 \\ 1 \\ x+1 \end{pmatrix} + S_R(w_1) \begin{pmatrix} x+1 \\ x \\ 1 \\ 1 \end{pmatrix} + S_R(w_2) \begin{pmatrix} 1 \\ x+1 \\ x \\ 1 \end{pmatrix} + S_R(w_3) \begin{pmatrix} 1 \\ 1 \\ x+1 \\ x \end{pmatrix}$$

در واقع از فرمول بالا برای این محاسبه این جداول استفاده می‌کنیم.

تا به جداول زیر برسیم

$$T_0(a) = \begin{bmatrix} xS_R(a) \\ S_R(a) \\ S_R(a) \\ (x+1)S_R(a) \end{bmatrix}, T_1(a) = \begin{bmatrix} (x+1)S_R(a) \\ xS_R(a) \\ S_R(a) \\ S_R(a) \end{bmatrix},$$

$$T_2(a) = \begin{bmatrix} S_R(a) \\ (x+1)S_R(a) \\ xS_R(a) \\ S_R(a) \end{bmatrix}, T_3(a) = \begin{bmatrix} S_R(a) \\ S_R(a) \\ (x+1)S_R(a) \\ xS_R(a) \end{bmatrix}$$

- **x و x1:** ضرایب ضرب مورد استفاده در MixColumns.
- **حلقه روی تمامی مقادیر بایت (۰ تا ۲۵۵):**
 - جایگزینی بایت (SR): مقدار ورودی با استفاده از S-box جایگزین می‌شود.
 - محاسبات ضرب:
 - mul_x_SR: نتیجه ضرب SR در x.
 - mul_x1_SR: نتیجه ضرب SR در x + 1.
 - پر کردن جداول:
 - جداول T0، T1، T2 و T3 نتایج پیش‌محاسبه‌شده را ذخیره می‌کنند.
- **هدف از پیش‌محاسبه:**
 - تبدیل MixColumns شامل ضرب‌ها و جمع‌های متعدد در GF(2⁸) است.
 - پیش‌محاسبه این مقادیر، سربار محاسباتی را در زمان اجرا کاهش می‌دهد.
- **مزایای عملکردی:**
 - محاسبات مکرر با دسترسی به جدول جایگزین می‌شوند.
 - performance در هنگام پردازش داده‌های بزرگ بهبود می‌یابد.

تبدیل MixColumns

```
inline void mixcolumn_transform(const uint8_t* w,
                                uint8_t* r,
                                const std::array<std::array<uint8_t, 4>, 256>& T0,
                                const std::array<std::array<uint8_t, 4>, 256>& T1,
                                const std::array<std::array<uint8_t, 4>, 256>& T2,
                                const std::array<std::array<uint8_t, 4>, 256>& T3) {
    for (int i = 0; i < 4; ++i) {
        r[i] = T0[w[0]][i] ^ T1[w[1]][i] ^ T2[w[2]][i] ^ T3[w[3]][i];
    }
}
```

- اعمال تبدیل MixColumns روی کلمه 4 بایتی ورودی w و تولید خروجی r .

چگونه این کار انجام می‌شود:

- حلقه روی هر موقعیت بایت (۰ تا ۳):
 - از جداول پیش‌محاسبه‌شده برای انجام تبدیل بدون محاسبات اضافی استفاده می‌کند.
 - $w[n]$ در واقع n مین بایت کلمه ورودی.

چرا این کار انجام می‌شود:

- MixColumns در AES و SNOW 2.0:
 - هدف این تبدیل، انتشار (Diffusion) است که بایت‌های حالت را با یکدیگر ترکیب می‌کند.

محاسبه بایاس تقریب خطی

```
double compute_linear_approximation(uint32_t mask,
    const std::array<std::array<uint8_t, 4>, 256>& T0,
    const std::array<std::array<uint8_t, 4>, 256>& T1,
    const std::array<std::array<uint8_t, 4>, 256>& T2,
    const std::array<std::array<uint8_t, 4>, 256>& T3) {

    auto start_time = std::chrono::high_resolution_clock::now();

    alignas(16) uint8_t w[4] = {
        static_cast<uint8_t>((mask >> 24) & 0xFF),
        static_cast<uint8_t>((mask >> 16) & 0xFF),
        static_cast<uint8_t>((mask >> 8) & 0xFF),
        static_cast<uint8_t>(mask & 0xFF)
    };

    uint64_t match_count = 0;

    const uint64_t max_iterations = 1ULL << 32;
    #pragma omp parallel
    {
        uint64_t thread_match_count = 0;
        #pragma omp for schedule(static)
```

محاسبه بایاس تقریب

خطی برای یک ماسک خاص روی تمامی ورودی‌های ممکن ۳۲ بیتی.

```
auto start_time = std::chrono::high_resolution_clock::now();
```

شروع اندازه‌گیری زمان

```
alignas(16) uint8_t w[4] = {
    static_cast<uint8_t>((mask >> 24) & 0xFF),
    static_cast<uint8_t>((mask >> 16) & 0xFF),
    static_cast<uint8_t>((mask >> 8) & 0xFF),
    static_cast<uint8_t>(mask & 0xFF)
};
```

- استخراج بایت‌های ماسک: ماسک ۳۲ بیتی به چهار مؤلفه ۸ بیتی $w[0]$ تا $w[3]$ تقسیم می‌شود.
- تراز حافظه: $\text{alignas}(16)$ تراز ۱۶ بیتی را تضمین می‌کند که عملکرد را بهبود می‌بخشد.

```
uint64_t match_count = 0;
```

تعداد تطابق‌های پاریتی ورودی و خروجی را شمارش می‌کند.

```
const uint64_t max_iterations = 1ULL << 32;
```

تعداد کل ورودی‌های ممکن (1^{32})

پردازش موازی

```
#pragma omp parallel
{
    uint64_t thread_match_count = 0;
    #pragma omp for schedule(static)
    for (uint64_t input_value = 0; input_value < max_iterations; input_value += 8) {

        uint8_t input_ws[8][4];
        uint8_t output_ws[8][4];
        uint8_t input_maskeds[8];
        uint8_t output_maskeds[8];

        for (int batch = 0; batch < 8; ++batch) {
            uint64_t val = input_value + batch;

            input_ws[batch][0] = static_cast<uint8_t>((val >> 24) & 0xFF);
            input_ws[batch][1] = static_cast<uint8_t>((val >> 16) & 0xFF);
            input_ws[batch][2] = static_cast<uint8_t>((val >> 8) & 0xFF);
            input_ws[batch][3] = static_cast<uint8_t>(val & 0xFF);

            mixcolumn_transform(input_ws[batch], output_ws[batch], T0, T1, T2, T3);

            uint8_t input_masked = 0;
            uint8_t output_masked = 0;

            input_masked = (input_ws[batch][0] & w[0]) ^ (input_ws[batch][1] & w[1]) ^
                           (input_ws[batch][2] & w[2]) ^ (input_ws[batch][3] & w[3]);

            output_masked = (output_ws[batch][0] & w[0]) ^ (output_ws[batch][1] & w[1]) ^
                            (output_ws[batch][2] & w[2]) ^ (output_ws[batch][3] & w[3]);

            input_maskeds[batch] = input_masked;
            output_maskeds[batch] = output_masked;
        }

        for (int batch = 0; batch < 8; ++batch) {
            if (__builtin_parity(input_maskeds[batch]) == __builtin_parity(output_maskeds[batch])) {
                thread_match_count += 1;
            }
        }
    }

    #pragma omp atomic
    match_count += thread_match_count;
}
```


- بخش موازی: با استفاده از `pragma omp parallel#` یک بخش موازی ایجاد می‌شود.
- متغیر محلی: `thread_match_count` از شرایط رقابتی جلوگیری می‌کند.
- تقسیم کار: `pragma omp for#` تکرارهای حلقه را بین `thread` ها تقسیم می‌کند.
- پردازش گروهی: در هر تکرار، ۸ ورودی (batch) پردازش می‌شود.
- عمل اتمی: اطمینان حاصل می‌کند که به‌روزرسانی‌های `match_count` ایمن هستند (جلوگیری از race condition).

پردازش گروهی (batch) و مقایسه پاریتی

```
for (int batch = 0; batch < 8; ++batch) {
    uint64_t val = input_value + batch;

    input_ws[batch][0] = static_cast<uint8_t>((val >> 24) & 0xFF);
    input_ws[batch][1] = static_cast<uint8_t>((val >> 16) & 0xFF);
    input_ws[batch][2] = static_cast<uint8_t>((val >> 8) & 0xFF);
    input_ws[batch][3] = static_cast<uint8_t>(val & 0xFF);

    mixcolumn_transform(input_ws[batch], output_ws[batch], T0, T1, T2, T3);

    uint8_t input_masked = 0;
    uint8_t output_masked = 0;

    input_masked = (input_ws[batch][0] & w[0]) ^ (input_ws[batch][1] & w[1]) ^
                  (input_ws[batch][2] & w[2]) ^ (input_ws[batch][3] & w[3]);

    output_masked = (output_ws[batch][0] & w[0]) ^ (output_ws[batch][1] & w[1]) ^
                  (output_ws[batch][2] & w[2]) ^ (output_ws[batch][3] & w[3]);

    input_maskeds[batch] = input_masked;
    output_maskeds[batch] = output_masked;
}
```

1. استخراج بایت‌های ورودی
2. انجام تبدیل MixColumns
3. محاسبه ورودی و خروجی ماسک‌شده

```
for (int batch = 0; batch < 8; ++batch) {
    if (__builtin_parity(input_maskeds[batch]) == __builtin_parity(output_maskeds[batch])) {
        thread_match_count += 1;
    }
}
```

4. مقایسه پاریتی

```
#pragma omp atomic
match_count += thread_match_count;
```

اضافه کردن مقدار محاسبه شده هر `thread` به مقدار اصلی

- پردازش ورودی:
 - بایت‌های ورودی از مقدار ۳۲ بیتی val استخراج می‌شوند.
 - تبدیل MixColumns روی ورودی اعمال می‌شود تا خروجی تولید شود.
- ماسک‌گذاری:
 - ماسک W روی ورودی و خروجی اعمال می‌شود.
 - XOR بایت‌های ماسک‌شده محاسبه می‌شود تا input_masked و output_masked به دست آید.
- مقایسه پاریتی:
 - از __builtin_parity() برای محاسبه پاریتی استفاده می‌شود.
 - اگر پاریتی‌ها برابر باشند، thread_match_count افزایش می‌یابد.

محاسبه بایاس

```
uint64_t total_count = max_iterations;

double bias = static_cast<double>(std::abs(static_cast<int64_t>(match_count - total_count / 2))) / total_count;
```

- بایاس اختلاف مطلق بین احتمال مشاهده‌شده و ۰.۵ است.
- بایاس نزدیک به ۰ نشان‌دهنده خروجی یکنواخت‌تر و مقاومت بیشتر در برابر تحلیل خطی است.

نمایش نتایج

```
auto end_time = std::chrono::high_resolution_clock::now();
std::chrono::duration<double> diff = end_time - start_time;

std::cout << "Mask: 0x" << std::hex << std::setw(8) << std::setfill('0') << mask
          << ", Bias: " << std::dec << std::fixed << std::setprecision(15) << bias
          << ", Time: " << std::dec << std::fixed << std::setprecision(5) << diff.count() << " seconds" << std::endl;

return bias;
```

- اندازه‌گیری زمان: زمان سپری‌شده محاسبه می‌شود.
- خروجی:
 - ماسک: به‌صورت هگزادسیمال (hex) نمایش داده می‌شود.
 - بایاس: با ۱۵ رقم اعشار نمایش داده می‌شود.
 - زمان: زمان اجرا به ثانیه با ۵ رقم اعشار نمایش داده می‌شود.
 - مقدار bias برگردانده می‌شود (در صورت نیاز به محاسبات اضافه در (main)).

Main

```
int main() {
    std::array<std::array<uint8_t, 4>, 256> T0, T1, T2, T3;
    precompute_tables(T0, T1, T2, T3);

    auto start_time_program = std::chrono::high_resolution_clock::now();
    for (uint64_t i = 0; i < ms_n; i++) {
        compute_linear_approximation(i, T0, T1, T2, T3);
    }
    auto end_time_program = std::chrono::high_resolution_clock::now();

    std::chrono::duration<double> diff_program = end_time_program - start_time_program;

    std::cout << "Completed!" << " Time: " << std::dec << std::fixed << std::setprecision(5)
    << diff_program.count() << " seconds" << std::endl;

    return 0;
}
```

```
int main() {
    std::array<std::array<uint8_t, 4>, 256> T0, T1, T2, T3;
    precompute_tables(T0, T1, T2, T3);
```

پیش‌محاسبه جداول

```
    auto start_time_program = std::chrono::high_resolution_clock::now();
    for (uint64_t i = 0; i < ms_n; i++) {
        compute_linear_approximation(i, T0, T1, T2, T3);
    }
    auto end_time_program = std::chrono::high_resolution_clock::now();

    std::chrono::duration<double> diff_program = end_time_program - start_time_program;

    std::cout << "Completed!" << " Time: " << std::dec << std::fixed << std::setprecision(5)
    << diff_program.count() << " seconds" << std::endl;

    return 0;
}
```

محاسبه تقریب خطی برای تمام ماسک‌های ممکن

- پیش‌محاسبه جداول: قبل از پردازش ورودی‌ها، جداول تبدیل مقداردهی می‌شوند.
- پردازش ماسک‌های خاص:
 - بایاس برای مجموعه‌ای از ماسک‌ها که ممکن است از نظر تحلیل نظری مهم باشند محاسبه می‌شود.
 - داده‌های تستی که در اختیار داریم (این قسمت از کد از برنامه حذف شد).
- پردازش روی تمام ماسک‌های ممکن:
 - روی تمام 2^{32} ماسک این عملیات تکرار می‌شود تا بایاس‌ها محاسبه شوند.
- اندازه‌گیری زمان کل برنامه
 - کل زمان صرف شده برای محاسبه ی تمام bias ها را اندازه‌گیری میکند.

بهینه‌سازی‌ها و افزایش performance

۱. موازی‌سازی با OpenMP

از هسته‌های CPU برای پردازش همزمان داده‌ها استفاده می‌کند.

پیاده‌سازی:

- `pragma omp parallel#`: یک بخش موازی ایجاد می‌کند.
- `pragma omp for schedule(static#)`: تکرارهای حلقه را بین رشته‌ها تقسیم می‌کند.

مزایا:

- کاهش زمان اجرا: با تقسیم کار، محاسبات سریع‌تر انجام می‌شود.
- استفاده بهینه از CPU: از تمامی منابع پردازشی موجود استفاده می‌کند.

۲. پردازش گروهی (Batch Processing)

چندین ورودی را در یک تکرار حلقه پردازش می‌کند.

پیاده‌سازی:

- پردازش ۸ ورودی در هر تکرار:
 - با استفاده از `input_value += 8`
 - و حلقه داخلی `for (int batch = 0; batch < 8; ++batch)`

مزایا:

- کاهش سربار حلقه: تعداد تکرارهای حلقه بیرونی کمتر می‌شود.
- بهبود عملکرد کش: پردازش داده‌ها به‌صورت گروهی باعث استفاده بهتر از حافظه کش می‌شود.

۳. جداول پیش‌محاسبه‌شده

نتایج موردنیاز برای تبدیل MixColumns را ذخیره می‌کند.

پیاده‌سازی:

- تابع `precompute_tables` تمامی نتایج لازم را محاسبه و ذخیره می‌کند.

مزایا:

- حذف محاسبات تکراری: از محاسبه مقادیر مشابه در زمان اجرا جلوگیری می‌کند.

- افزایش سرعت بخش‌های حیاتی: تبدیل MixColumns میلیاردی بار اجرا می‌شود و بهینه‌سازی آن تأثیر زیادی دارد.

۴. تراز حافظه (Memory Alignment)

چه کاری انجام می‌دهد:

- داده‌ها را روی مرزهای حافظه خاصی تراز می‌کند.

چگونه پیاده‌سازی شده:

- **alignas(16)**: هنگام تعریف آرایه‌های AES S-box و ماسک‌ها استفاده شده است.

مزایا:

- داده‌های تراز شده سریع‌تر دسترسی پیدا می‌کنند.
- تراز بودن داده‌ها برای عملیات SIMD مفید است.

۵. عملیات بیت‌وایز کارآمد

- از عملیات بیت‌وایز برای ماسک‌گذاری و محاسبه پاریتی استفاده می‌کند.

پیاده‌سازی:

- ماسک‌گذاری و ترکیب بیت‌ها:
 - از عملگرهای AND (&) و XOR (^) استفاده می‌شود.
- محاسبه پاریتی:
 - **__builtin_parity()**: تابع داخلی که پاریتی را به‌صورت بهینه محاسبه می‌کند.

مزایا:

- عملیات بیت‌وایز به‌صورت مستقیم در سطح پردازنده انجام می‌شود.
- بخش‌های پرتکرار کد بهینه می‌شوند.

۶. توابع Inline

چه کاری انجام می‌دهد:

- به کامپایلر پیشنهاد می‌دهد که کد تابع مستقیماً در محل فراخوانی قرار گیرد.

چگونه پیاده‌سازی شده:

- **inline**: برای توابع کوچک و مهم مانند **gf_mul** و **mixcolumn_transform** استفاده شده است.

مزایا:

- از سربار مرتبط با فراخوانی تابع جلوگیری می‌کند.
- کامپایلر می‌تواند کد را بهتر بهینه کند.

نتایج

این بهینه‌سازی‌ها باعث شده که پردازش حجم زیادی از داده‌ها در زمان معقول امکان‌پذیر باشد.

با آزمایش در حالت عادی و موازی سازی به نتایج زیر می‌رسیم.

```
Mask: 0xffffffff0, Bias: 0.00000905, Time: 0.00535 seconds
Mask: 0xffffffff1, Bias: 0.00000693, Time: 0.00587 seconds
Mask: 0xffffffff2, Bias: 0.00000669, Time: 0.00696 seconds
Mask: 0xffffffff3, Bias: 0.00000663, Time: 0.00594 seconds
Mask: 0xffffffff4, Bias: 0.00000026, Time: 0.00563 seconds
Mask: 0xffffffff5, Bias: 0.00008759, Time: 0.00667 seconds
Mask: 0xffffffff6, Bias: 0.00000107, Time: 0.00567 seconds
Mask: 0xffffffff7, Bias: 0.00001108, Time: 0.00658 seconds
Mask: 0xffffffff8, Bias: 0.00000139, Time: 0.00558 seconds
Mask: 0xffffffff9, Bias: 0.00000488, Time: 0.00699 seconds
Mask: 0xffffffffffa, Bias: 0.00003368, Time: 0.00632 seconds
Mask: 0xffffffffffb, Bias: 0.00000621, Time: 0.00606 seconds
Mask: 0xffffffffffc, Bias: 0.00009390, Time: 0.00627 seconds
Mask: 0xffffffffffd, Bias: 0.00003774, Time: 0.00621 seconds
Mask: 0xffffffffffe, Bias: 0.00007735, Time: 0.00653 seconds
```

```
Mask: 0x00000000, Bias: 0.00000900, Time: 0.20890 seconds
Mask: 0x00000001, Bias: 0.00000714, Time: 0.21604 seconds
Mask: 0x00000002, Bias: 0.00000725, Time: 0.21407 seconds
Mask: 0x00000003, Bias: 0.00002641, Time: 0.21562 seconds
Mask: 0x00000004, Bias: 0.00008476, Time: 0.21802 seconds
Mask: 0x00000005, Bias: 0.00000021, Time: 0.20630 seconds
Mask: 0x00000006, Bias: 0.00006507, Time: 0.20355 seconds
Mask: 0x00000007, Bias: 0.00000442, Time: 0.20279 seconds
Mask: 0x00000008, Bias: 0.00009948, Time: 0.20721 seconds
Mask: 0x00000009, Bias: 0.00000748, Time: 0.20415 seconds
Mask: 0x0000000a, Bias: 0.00000023, Time: 0.21205 seconds
Mask: 0x0000000b, Bias: 0.00000774, Time: 0.20585 seconds
Mask: 0x0000000c, Bias: 0.00006606, Time: 0.20736 seconds
Mask: 0x0000000d, Bias: 0.00000260, Time: 0.20974 seconds
Mask: 0x0000000e, Bias: 0.00000065, Time: 0.21284 seconds
```

در حالت موازی سازی و بهینه سازی

در حالت بدون موازی سازی و بهینه سازی

همانطور که مشاهده میکنیم زمان محاسبه از حدود ۰.۲ ثانیه به ۰.۰۰۵ الی ۰.۰۰۶ ثانیه می‌رسد که یک چهل‌م می‌شود و عملکرد بسیار افزایش می‌یابد.

خروجی :

Mask: 0x00000044, Bias: 0.00000433, Time: 0.00521 seconds
Mask: 0x00000045, Bias: 0.00007530, Time: 0.00527 seconds
Mask: 0x00000046, Bias: 0.00000457, Time: 0.00543 seconds
Mask: 0x00000047, Bias: 0.00002277, Time: 0.00579 seconds
Mask: 0x00000048, Bias: 0.00009737, Time: 0.00618 seconds
Mask: 0x00000049, Bias: 0.00002826, Time: 0.00594 seconds
Mask: 0x0000004a, Bias: 0.00000957, Time: 0.00676 seconds
Mask: 0x0000004b, Bias: 0.00000609, Time: 0.00554 seconds
Mask: 0x0000004c, Bias: 0.00000750, Time: 0.00628 seconds
Mask: 0x0000004d, Bias: 0.00000781, Time: 0.00559 seconds
Mask: 0x0000004e, Bias: 0.00000894, Time: 0.00540 seconds
Mask: 0x0000004f, Bias: 0.00002327, Time: 0.00658 seconds
Mask: 0x00000050, Bias: 0.00000021, Time: 0.00614 seconds
Mask: 0x00000051, Bias: 0.00000153, Time: 0.00628 seconds
Mask: 0x00000052, Bias: 0.00000752, Time: 0.00507 seconds
Mask: 0x00000053, Bias: 0.00002797, Time: 0.00699 seconds
Mask: 0x00000054, Bias: 0.00001382, Time: 0.00640 seconds
Mask: 0x00000055, Bias: 0.00009090, Time: 0.00533 seconds
Mask: 0x00000056, Bias: 0.00008092, Time: 0.00693 seconds
Mask: 0x00000057, Bias: 0.00000057, Time: 0.00677 seconds
Mask: 0x00000058, Bias: 0.00000436, Time: 0.00521 seconds
Mask: 0x00000059, Bias: 0.00000985, Time: 0.00686 seconds
Mask: 0x0000005a, Bias: 0.00008758, Time: 0.00677 seconds
Mask: 0x0000005b, Bias: 0.00000230, Time: 0.00544 seconds
Mask: 0x0000005c, Bias: 0.00000781, Time: 0.00601 seconds
Mask: 0x0000005d, Bias: 0.00000804, Time: 0.00571 seconds
Mask: 0x0000005e, Bias: 0.00001102, Time: 0.00645 seconds
Mask: 0x0000005f, Bias: 0.00002710, Time: 0.00551 seconds
Mask: 0x00000060, Bias: 0.00000303, Time: 0.00625 seconds
Mask: 0x00000061, Bias: 0.00000635, Time: 0.00562 seconds
Mask: 0x00000062, Bias: 0.00007950, Time: 0.00611 seconds
Mask: 0x00000063, Bias: 0.00000565, Time: 0.00630 seconds
Mask: 0x00000064, Bias: 0.00000449, Time: 0.00617 seconds
Mask: 0x00000065, Bias: 0.00003853, Time: 0.00530 seconds
Mask: 0x00000066, Bias: 0.00000287, Time: 0.00646 seconds
Mask: 0x00000067, Bias: 0.00009415, Time: 0.00625 seconds
Mask: 0x00000068, Bias: 0.00006841, Time: 0.00641 seconds
Mask: 0x00000069, Bias: 0.00000469, Time: 0.00515 seconds
Mask: 0x0000006a, Bias: 0.00000909, Time: 0.00518 seconds
Mask: 0x0000006b, Bias: 0.00000309, Time: 0.00529 seconds
Mask: 0x0000006c, Bias: 0.00001640, Time: 0.00628 seconds
Mask: 0x0000006d, Bias: 0.00000347, Time: 0.00630 seconds
Mask: 0x0000006e, Bias: 0.00001898, Time: 0.00588 seconds
Mask: 0x0000006f, Bias: 0.00002666, Time: 0.00540 seconds
Mask: 0x00000070, Bias: 0.00002679, Time: 0.00658 seconds
Mask: 0x00000071, Bias: 0.00000077, Time: 0.00553 seconds
Mask: 0x00000072, Bias: 0.00009048, Time: 0.00597 seconds
Mask: 0x00000073, Bias: 0.00000525, Time: 0.00605 seconds
Mask: 0x00000074, Bias: 0.00000460, Time: 0.00693 seconds
Mask: 0x00000075, Bias: 0.00005122, Time: 0.00685 seconds
Mask: 0x00000076, Bias: 0.00000059, Time: 0.00606 seconds
Mask: 0x00000077, Bias: 0.00000136, Time: 0.00563 seconds
Mask: 0x00000078, Bias: 0.00000466, Time: 0.00649 seconds
Mask: 0x00000079, Bias: 0.00000231, Time: 0.00543 seconds
Mask: 0x0000007a, Bias: 0.00000987, Time: 0.00651 seconds
Mask: 0x0000007b, Bias: 0.00003635, Time: 0.00665 seconds
Mask: 0x0000007c, Bias: 0.00005876, Time: 0.00577 seconds
Mask: 0x0000007d, Bias: 0.00000266, Time: 0.00570 seconds
Mask: 0x0000007e, Bias: 0.00007272, Time: 0.00635 seconds
Mask: 0x0000007f, Bias: 0.00000762, Time: 0.00621 seconds

Mask: 0x00000080, Bias: 0.00000031, Time: 0.00635 seconds
Mask: 0x0000008c, Bias: 0.00000418, Time: 0.00621 seconds
Mask: 0x0000008d, Bias: 0.00000057, Time: 0.00631 seconds
Mask: 0x0000008e, Bias: 0.00002128, Time: 0.00519 seconds
Mask: 0x0000008f, Bias: 0.00000027, Time: 0.00672 seconds
Mask: 0x00000090, Bias: 0.00000988, Time: 0.00635 seconds
Mask: 0x00000091, Bias: 0.00002979, Time: 0.00506 seconds
Mask: 0x00000092, Bias: 0.00002712, Time: 0.00599 seconds
Mask: 0x00000093, Bias: 0.00000005, Time: 0.00693 seconds
Mask: 0x00000094, Bias: 0.00000576, Time: 0.00560 seconds
Mask: 0x00000095, Bias: 0.00005168, Time: 0.00651 seconds
Mask: 0x00000096, Bias: 0.00000406, Time: 0.00534 seconds
Mask: 0x00000097, Bias: 0.00002075, Time: 0.00658 seconds
Mask: 0x00000098, Bias: 0.00002430, Time: 0.00566 seconds
Mask: 0x00000099, Bias: 0.00000253, Time: 0.00578 seconds
Mask: 0x0000009a, Bias: 0.00001083, Time: 0.00591 seconds
Mask: 0x0000009b, Bias: 0.00000974, Time: 0.00607 seconds
Mask: 0x0000009c, Bias: 0.00004275, Time: 0.00678 seconds
Mask: 0x0000009d, Bias: 0.00003938, Time: 0.00639 seconds
Mask: 0x0000009e, Bias: 0.00000636, Time: 0.00557 seconds
Mask: 0x0000009f, Bias: 0.00000531, Time: 0.00650 seconds
Mask: 0x000000a0, Bias: 0.00008746, Time: 0.00681 seconds
Mask: 0x000000a1, Bias: 0.00000501, Time: 0.00650 seconds
Mask: 0x000000a2, Bias: 0.00002666, Time: 0.00615 seconds
Mask: 0x000000a3, Bias: 0.00006217, Time: 0.00609 seconds
Mask: 0x000000a4, Bias: 0.00000278, Time: 0.00515 seconds
Mask: 0x000000a5, Bias: 0.00000426, Time: 0.00639 seconds
Mask: 0x000000a6, Bias: 0.00000304, Time: 0.00501 seconds
Mask: 0x000000a7, Bias: 0.00000972, Time: 0.00566 seconds
Mask: 0x000000a8, Bias: 0.00003094, Time: 0.00599 seconds
Mask: 0x000000a9, Bias: 0.00008908, Time: 0.00625 seconds
Mask: 0x000000aa, Bias: 0.00000532, Time: 0.00667 seconds
Mask: 0x000000ab, Bias: 0.00008245, Time: 0.00573 seconds
Mask: 0x000000ac, Bias: 0.00000131, Time: 0.00514 seconds
Mask: 0x000000ad, Bias: 0.00000751, Time: 0.00690 seconds
Mask: 0x000000ae, Bias: 0.00009581, Time: 0.00651 seconds
Mask: 0x000000af, Bias: 0.00002220, Time: 0.00639 seconds
Mask: 0x000000b0, Bias: 0.00002408, Time: 0.00563 seconds
Mask: 0x000000b1, Bias: 0.00006664, Time: 0.00615 seconds
Mask: 0x000000b2, Bias: 0.00009338, Time: 0.00631 seconds
Mask: 0x000000b3, Bias: 0.00000636, Time: 0.00612 seconds
Mask: 0x000000b4, Bias: 0.00000786, Time: 0.00597 seconds
Mask: 0x000000b5, Bias: 0.00000708, Time: 0.00680 seconds
Mask: 0x000000b6, Bias: 0.00000760, Time: 0.00517 seconds
Mask: 0x000000b7, Bias: 0.00004622, Time: 0.00547 seconds
Mask: 0x000000b8, Bias: 0.00000037, Time: 0.00556 seconds
Mask: 0x000000b9, Bias: 0.00000727, Time: 0.00504 seconds
Mask: 0x000000ba, Bias: 0.00000008, Time: 0.00643 seconds
Mask: 0x000000bb, Bias: 0.00000637, Time: 0.00584 seconds
Mask: 0x000000bc, Bias: 0.00001354, Time: 0.00697 seconds
Mask: 0x000000bd, Bias: 0.00000553, Time: 0.00693 seconds
Mask: 0x000000be, Bias: 0.00000780, Time: 0.00578 seconds
Mask: 0x000000bf, Bias: 0.00007917, Time: 0.00548 seconds
Mask: 0x000000c0, Bias: 0.00001166, Time: 0.00693 seconds
Mask: 0x000000c1, Bias: 0.00000627, Time: 0.00581 seconds
Mask: 0x000000c2, Bias: 0.00007882, Time: 0.00662 seconds
Mask: 0x000000c3, Bias: 0.00000472, Time: 0.00589 seconds
Mask: 0x000000c4, Bias: 0.00007107, Time: 0.00543 seconds
Mask: 0x000000c5, Bias: 0.00000148, Time: 0.00530 seconds
Mask: 0x000000c6, Bias: 0.00000635, Time: 0.00675 seconds

Mask: 0x000000a0, Bias: 0.00000001, Time: 0.00657 seconds
Mask: 0x000000a1, Bias: 0.00000873, Time: 0.00610 seconds
Mask: 0x000000a2, Bias: 0.00007076, Time: 0.00655 seconds
Mask: 0x000000a3, Bias: 0.00000110, Time: 0.00609 seconds
Mask: 0x000000a4, Bias: 0.00000702, Time: 0.00583 seconds
Mask: 0x000000a5, Bias: 0.00000322, Time: 0.00538 seconds
Mask: 0x000000a6, Bias: 0.00000997, Time: 0.00685 seconds
Mask: 0x000000a7, Bias: 0.00007125, Time: 0.00576 seconds
Mask: 0x000000a8, Bias: 0.00005383, Time: 0.00505 seconds
Mask: 0x000000a9, Bias: 0.00000391, Time: 0.00690 seconds
Mask: 0x000000aa, Bias: 0.00005270, Time: 0.00515 seconds
Mask: 0x000000ab, Bias: 0.00000886, Time: 0.00511 seconds
Mask: 0x000000ac, Bias: 0.00000399, Time: 0.00525 seconds
Mask: 0x000000ad, Bias: 0.00001615, Time: 0.00572 seconds
Mask: 0x000000ae, Bias: 0.00000738, Time: 0.00516 seconds
Mask: 0x000000af, Bias: 0.00005866, Time: 0.00540 seconds
Mask: 0x000000b0, Bias: 0.00000728, Time: 0.00633 seconds
Mask: 0x000000b1, Bias: 0.00000091, Time: 0.00697 seconds
Mask: 0x000000b2, Bias: 0.00000299, Time: 0.00602 seconds
Mask: 0x000000b3, Bias: 0.00009666, Time: 0.00636 seconds
Mask: 0x000000b4, Bias: 0.00002055, Time: 0.00633 seconds
Mask: 0x000000b5, Bias: 0.00001880, Time: 0.00584 seconds
Mask: 0x000000b6, Bias: 0.00002348, Time: 0.00535 seconds
Mask: 0x000000b7, Bias: 0.00000691, Time: 0.00552 seconds
Mask: 0x000000b8, Bias: 0.00000685, Time: 0.00645 seconds
Mask: 0x000000b9, Bias: 0.00003983, Time: 0.00547 seconds
Mask: 0x000000ba, Bias: 0.00000137, Time: 0.00508 seconds
Mask: 0x000000bb, Bias: 0.00000103, Time: 0.00510 seconds
Mask: 0x000000bc, Bias: 0.00000864, Time: 0.00581 seconds
Mask: 0x000000bd, Bias: 0.00001984, Time: 0.00671 seconds
Mask: 0x000000be, Bias: 0.00000595, Time: 0.00698 seconds
Mask: 0x000000bf, Bias: 0.00001500, Time: 0.00695 seconds
Mask: 0x000000c0, Bias: 0.00000337, Time: 0.00599 seconds
Mask: 0x000000c1, Bias: 0.00004971, Time: 0.00512 seconds
Mask: 0x000000c2, Bias: 0.00004481, Time: 0.00604 seconds
Mask: 0x000000c3, Bias: 0.00000751, Time: 0.00676 seconds
Mask: 0x000000c4, Bias: 0.00000820, Time: 0.00621 seconds
Mask: 0x000000c5, Bias: 0.00000914, Time: 0.00621 seconds
Mask: 0x000000c6, Bias: 0.00000131, Time: 0.00625 seconds
Mask: 0x000000c7, Bias: 0.00000241, Time: 0.00627 seconds
Mask: 0x000000c8, Bias: 0.00002211, Time: 0.00626 seconds
Mask: 0x000000c9, Bias: 0.00001931, Time: 0.00655 seconds
Mask: 0x000000ca, Bias: 0.00000737, Time: 0.00598 seconds
Mask: 0x000000cb, Bias: 0.00007844, Time: 0.00622 seconds
Mask: 0x000000cc, Bias: 0.00008497, Time: 0.00525 seconds
Mask: 0x000000cd, Bias: 0.00000182, Time: 0.00560 seconds
Mask: 0x000000ce, Bias: 0.00000218, Time: 0.00590 seconds
Mask: 0x000000cf, Bias: 0.00002683, Time: 0.00636 seconds
Mask: 0x000000d0, Bias: 0.00000720, Time: 0.00575 seconds
Mask: 0x000000d1, Bias: 0.00000986, Time: 0.00596 seconds
Mask: 0x000000d2, Bias: 0.00008964, Time: 0.00626 seconds
Mask: 0x000000d3, Bias: 0.00007221, Time: 0.00505 seconds
Mask: 0x000000d4, Bias: 0.00000122, Time: 0.00531 seconds
Mask: 0x000000d5, Bias: 0.00000072, Time: 0.00546 seconds
Mask: 0x000000d6, Bias: 0.00000679, Time: 0.00512 seconds
Mask: 0x000000d7, Bias: 0.00000081, Time: 0.00599 seconds
Mask: 0x000000d8, Bias: 0.00000780, Time: 0.00689 seconds
Mask: 0x000000d9, Bias: 0.00003080, Time: 0.00603 seconds
Mask: 0x000000da, Bias: 0.00003126, Time: 0.00672 seconds
Mask: 0x000000db, Bias: 0.00001452, Time: 0.00654 seconds

Mask: 0x003947ee, Bias: 0.00000790, Time: 0.00655 seconds
Mask: 0x003947ef, Bias: 0.00000032, Time: 0.00533 seconds
Mask: 0x003947f0, Bias: 0.00000046, Time: 0.00623 seconds
Mask: 0x003947f1, Bias: 0.00002318, Time: 0.00609 seconds
Mask: 0x003947f2, Bias: 0.00009212, Time: 0.00587 seconds
Mask: 0x003947f3, Bias: 0.00004177, Time: 0.00579 seconds
Mask: 0x003947f4, Bias: 0.00002731, Time: 0.00568 seconds
Mask: 0x003947f5, Bias: 0.00000497, Time: 0.00561 seconds
Mask: 0x003947f6, Bias: 0.00003729, Time: 0.00577 seconds
Mask: 0x003947f7, Bias: 0.00000244, Time: 0.00514 seconds
Mask: 0x003947f8, Bias: 0.00007608, Time: 0.00689 seconds
Mask: 0x003947f9, Bias: 0.00000774, Time: 0.00660 seconds
Mask: 0x003947fa, Bias: 0.00002437, Time: 0.00585 seconds
Mask: 0x003947fb, Bias: 0.00002751, Time: 0.00568 seconds
Mask: 0x003947fc, Bias: 0.00000967, Time: 0.00579 seconds
Mask: 0x003947fd, Bias: 0.00000610, Time: 0.00653 seconds
Mask: 0x003947fe, Bias: 0.00004144, Time: 0.00512 seconds
Mask: 0x003947ff, Bias: 0.00006867, Time: 0.00554 seconds
Mask: 0x00394800, Bias: 0.00000955, Time: 0.00562 seconds
Mask: 0x00394801, Bias: 0.00000958, Time: 0.00538 seconds
Mask: 0x00394802, Bias: 0.00008944, Time: 0.00527 seconds
Mask: 0x00394803, Bias: 0.00000919, Time: 0.00651 seconds
Mask: 0x00394804, Bias: 0.00009921, Time: 0.00502 seconds
Mask: 0x00394805, Bias: 0.00000872, Time: 0.00514 seconds
Mask: 0x00394806, Bias: 0.00000025, Time: 0.00640 seconds
Mask: 0x00394807, Bias: 0.00000139, Time: 0.00565 seconds
Mask: 0x00394808, Bias: 0.00000325, Time: 0.00535 seconds
Mask: 0x00394809, Bias: 0.00004658, Time: 0.00543 seconds
Mask: 0x0039480a, Bias: 0.00000629, Time: 0.00507 seconds
Mask: 0x0039480b, Bias: 0.00000337, Time: 0.00656 seconds
Mask: 0x0039480c, Bias: 0.00008142, Time: 0.00663 seconds
Mask: 0x0039480d, Bias: 0.00000956, Time: 0.00541 seconds
Mask: 0x0039480e, Bias: 0.00000947, Time: 0.00670 seconds
Mask: 0x0039480f, Bias: 0.00003108, Time: 0.00595 seconds
Mask: 0x00394810, Bias: 0.00003348, Time: 0.00642 seconds
Mask: 0x00394811, Bias: 0.00003967, Time: 0.00588 seconds
Mask: 0x00394812, Bias: 0.00000607, Time: 0.00633 seconds
Mask: 0x00394813, Bias: 0.00007145, Time: 0.00556 seconds
Mask: 0x00394814, Bias: 0.00000022, Time: 0.00696 seconds
Mask: 0x00394815, Bias: 0.00000311, Time: 0.00539 seconds
Mask: 0x00394816, Bias: 0.00008074, Time: 0.00635 seconds
Mask: 0x00394817, Bias: 0.00006023, Time: 0.00506 seconds
Mask: 0x00394818, Bias: 0.00009185, Time: 0.00506 seconds
Mask: 0x00394819, Bias: 0.00005287, Time: 0.00531 seconds
Mask: 0x0039481a, Bias: 0.00000939, Time: 0.00669 seconds
Mask: 0x0039481b, Bias: 0.00004960, Time: 0.00611 seconds
Mask: 0x0039481c, Bias: 0.00000579, Time: 0.00506 seconds
Mask: 0x0039481d, Bias: 0.00000251, Time: 0.00648 seconds
Mask: 0x0039481e, Bias: 0.00000737, Time: 0.00536 seconds
Mask: 0x0039481f, Bias: 0.00002302, Time: 0.00614 seconds
Mask: 0x00394820, Bias: 0.00005296, Time: 0.00625 seconds
Mask: 0x00394821, Bias: 0.00006112, Time: 0.00618 seconds
Mask: 0x00394822, Bias: 0.00003935, Time: 0.00523 seconds
Mask: 0x00394823, Bias: 0.00000583, Time: 0.00563 seconds
Mask: 0x00394824, Bias: 0.00005279, Time: 0.00530 seconds
Mask: 0x00394825, Bias: 0.00004609, Time: 0.00520 seconds
Mask: 0x00394826, Bias: 0.00000407, Time: 0.00650 seconds
Mask: 0x00394827, Bias: 0.00003088, Time: 0.00699 seconds
Mask: 0x00394828, Bias: 0.00006064, Time: 0.00559 seconds
Mask: 0x00394829, Bias: 0.00007592, Time: 0.00572 seconds

Mask: 0x00f12089, Bias: 0.00000016, Time: 0.00659 seconds
Mask: 0x00f1208a, Bias: 0.00000825, Time: 0.00624 seconds
Mask: 0x00f1208b, Bias: 0.00000794, Time: 0.00591 seconds
Mask: 0x00f1208c, Bias: 0.00002514, Time: 0.00516 seconds
Mask: 0x00f1208d, Bias: 0.00000050, Time: 0.00508 seconds
Mask: 0x00f1208e, Bias: 0.00005797, Time: 0.00544 seconds
Mask: 0x00f1208f, Bias: 0.00000188, Time: 0.00679 seconds
Mask: 0x00f12090, Bias: 0.00000643, Time: 0.00569 seconds
Mask: 0x00f12091, Bias: 0.00000686, Time: 0.00654 seconds
Mask: 0x00f12092, Bias: 0.00000531, Time: 0.00643 seconds
Mask: 0x00f12093, Bias: 0.00000185, Time: 0.00526 seconds
Mask: 0x00f12094, Bias: 0.00000422, Time: 0.00535 seconds
Mask: 0x00f12095, Bias: 0.00009449, Time: 0.00679 seconds
Mask: 0x00f12096, Bias: 0.00000695, Time: 0.00586 seconds
Mask: 0x00f12097, Bias: 0.00000958, Time: 0.00665 seconds
Mask: 0x00f12098, Bias: 0.00000128, Time: 0.00588 seconds
Mask: 0x00f12099, Bias: 0.00009999, Time: 0.00690 seconds
Mask: 0x00f1209a, Bias: 0.00007400, Time: 0.00694 seconds
Mask: 0x00f1209b, Bias: 0.00002983, Time: 0.00571 seconds
Mask: 0x00f1209c, Bias: 0.00000267, Time: 0.00672 seconds
Mask: 0x00f1209d, Bias: 0.00001131, Time: 0.00591 seconds
Mask: 0x00f1209e, Bias: 0.00000653, Time: 0.00642 seconds
Mask: 0x00f1209f, Bias: 0.00001349, Time: 0.00568 seconds
Mask: 0x00f120a0, Bias: 0.00004937, Time: 0.00691 seconds
Mask: 0x00f120a1, Bias: 0.00000205, Time: 0.00623 seconds
Mask: 0x00f120a2, Bias: 0.00004186, Time: 0.00666 seconds
Mask: 0x00f120a3, Bias: 0.00000526, Time: 0.00558 seconds
Mask: 0x00f120a4, Bias: 0.00006235, Time: 0.00527 seconds
Mask: 0x00f120a5, Bias: 0.00000609, Time: 0.00506 seconds
Mask: 0x00f120a6, Bias: 0.00000080, Time: 0.00614 seconds
Mask: 0x00f120a7, Bias: 0.00000477, Time: 0.00573 seconds
Mask: 0x00f120a8, Bias: 0.00004051, Time: 0.00516 seconds
Mask: 0x00f120a9, Bias: 0.00000266, Time: 0.00660 seconds
Mask: 0x00f120aa, Bias: 0.00000989, Time: 0.00577 seconds
Mask: 0x00f120ab, Bias: 0.00000653, Time: 0.00699 seconds
Mask: 0x00f120ac, Bias: 0.00004063, Time: 0.00650 seconds
Mask: 0x00f120ad, Bias: 0.00009082, Time: 0.00540 seconds
Mask: 0x00f120ae, Bias: 0.00006154, Time: 0.00583 seconds
Mask: 0x00f120af, Bias: 0.00008186, Time: 0.00697 seconds
Mask: 0x00f120b0, Bias: 0.00004464, Time: 0.00569 seconds
Mask: 0x00f120b1, Bias: 0.00005665, Time: 0.00600 seconds
Mask: 0x00f120b2, Bias: 0.00002005, Time: 0.00538 seconds
Mask: 0x00f120b3, Bias: 0.00008012, Time: 0.00645 seconds
Mask: 0x00f120b4, Bias: 0.00000938, Time: 0.00653 seconds
Mask: 0x00f120b5, Bias: 0.00002299, Time: 0.00673 seconds
Mask: 0x00f120b6, Bias: 0.00000993, Time: 0.00660 seconds
Mask: 0x00f120b7, Bias: 0.00000276, Time: 0.00545 seconds
Mask: 0x00f120b8, Bias: 0.00000053, Time: 0.00587 seconds
Mask: 0x00f120b9, Bias: 0.00000029, Time: 0.00560 seconds
Mask: 0x00f120ba, Bias: 0.00000575, Time: 0.00672 seconds
Mask: 0x00f120bb, Bias: 0.00000826, Time: 0.00669 seconds
Mask: 0x00f120bc, Bias: 0.00000524, Time: 0.00629 seconds
Mask: 0x00f120bd, Bias: 0.00000437, Time: 0.00569 seconds
Mask: 0x00f120be, Bias: 0.00000197, Time: 0.00611 seconds
Mask: 0x00f120bf, Bias: 0.00007255, Time: 0.00519 seconds
Mask: 0x00f120c0, Bias: 0.00001653, Time: 0.00646 seconds
Mask: 0x00f120c1, Bias: 0.00000299, Time: 0.00625 seconds
Mask: 0x00f120c2, Bias: 0.00000976, Time: 0.00608 seconds
Mask: 0x00f120c3, Bias: 0.00000932, Time: 0.00694 seconds
Mask: 0x00f120c4, Bias: 0.00002185, Time: 0.00536 seconds

Mask: 0x03e7006e, Bias: 0.00000360, Time: 0.00629 seconds
Mask: 0x03e7006f, Bias: 0.00000145, Time: 0.00686 seconds
Mask: 0x03e70070, Bias: 0.00000977, Time: 0.00518 seconds
Mask: 0x03e70071, Bias: 0.00000083, Time: 0.00642 seconds
Mask: 0x03e70072, Bias: 0.00000683, Time: 0.00625 seconds
Mask: 0x03e70073, Bias: 0.00000146, Time: 0.00634 seconds
Mask: 0x03e70074, Bias: 0.00002514, Time: 0.00615 seconds
Mask: 0x03e70075, Bias: 0.00000321, Time: 0.00504 seconds
Mask: 0x03e70076, Bias: 0.00003534, Time: 0.00664 seconds
Mask: 0x03e70077, Bias: 0.00003321, Time: 0.00700 seconds
Mask: 0x03e70078, Bias: 0.00005031, Time: 0.00510 seconds
Mask: 0x03e70079, Bias: 0.00000838, Time: 0.00647 seconds
Mask: 0x03e7007a, Bias: 0.00000141, Time: 0.00567 seconds
Mask: 0x03e7007b, Bias: 0.00002213, Time: 0.00650 seconds
Mask: 0x03e7007c, Bias: 0.00000750, Time: 0.00524 seconds
Mask: 0x03e7007d, Bias: 0.00003584, Time: 0.00523 seconds
Mask: 0x03e7007e, Bias: 0.00000145, Time: 0.00642 seconds
Mask: 0x03e7007f, Bias: 0.00005772, Time: 0.00524 seconds
Mask: 0x03e70080, Bias: 0.00003951, Time: 0.00700 seconds
Mask: 0x03e70081, Bias: 0.00005628, Time: 0.00644 seconds
Mask: 0x03e70082, Bias: 0.00006179, Time: 0.00559 seconds
Mask: 0x03e70083, Bias: 0.00004391, Time: 0.00699 seconds
Mask: 0x03e70084, Bias: 0.00002318, Time: 0.00530 seconds
Mask: 0x03e70085, Bias: 0.00000652, Time: 0.00523 seconds
Mask: 0x03e70086, Bias: 0.00001580, Time: 0.00550 seconds
Mask: 0x03e70087, Bias: 0.00000442, Time: 0.00562 seconds
Mask: 0x03e70088, Bias: 0.00003044, Time: 0.00597 seconds
Mask: 0x03e70089, Bias: 0.00003435, Time: 0.00510 seconds
Mask: 0x03e7008a, Bias: 0.00003301, Time: 0.00503 seconds
Mask: 0x03e7008b, Bias: 0.00000686, Time: 0.00653 seconds
Mask: 0x03e7008c, Bias: 0.00006644, Time: 0.00513 seconds
Mask: 0x03e7008d, Bias: 0.00008639, Time: 0.00590 seconds
Mask: 0x03e7008e, Bias: 0.00000972, Time: 0.00583 seconds
Mask: 0x03e7008f, Bias: 0.00003196, Time: 0.00646 seconds
Mask: 0x03e70090, Bias: 0.00000467, Time: 0.00637 seconds
Mask: 0x03e70091, Bias: 0.00002518, Time: 0.00682 seconds
Mask: 0x03e70092, Bias: 0.00000461, Time: 0.00589 seconds
Mask: 0x03e70093, Bias: 0.00006252, Time: 0.00586 seconds
Mask: 0x03e70094, Bias: 0.00007955, Time: 0.00653 seconds
Mask: 0x03e70095, Bias: 0.00009230, Time: 0.00542 seconds
Mask: 0x03e70096, Bias: 0.00000948, Time: 0.00669 seconds
Mask: 0x03e70097, Bias: 0.00000191, Time: 0.00634 seconds
Mask: 0x03e70098, Bias: 0.00000170, Time: 0.00698 seconds
Mask: 0x03e70099, Bias: 0.00000621, Time: 0.00651 seconds
Mask: 0x03e7009a, Bias: 0.00005979, Time: 0.00507 seconds
Mask: 0x03e7009b, Bias: 0.00000641, Time: 0.00579 seconds
Mask: 0x03e7009c, Bias: 0.00000958, Time: 0.00560 seconds
Mask: 0x03e7009d, Bias: 0.00002897, Time: 0.00594 seconds
Mask: 0x03e7009e, Bias: 0.00003493, Time: 0.00649 seconds
Mask: 0x03e7009f, Bias: 0.00009423, Time: 0.00619 seconds
Mask: 0x03e700a0, Bias: 0.00003910, Time: 0.00506 seconds
Mask: 0x03e700a1, Bias: 0.00009893, Time: 0.00531 seconds
Mask: 0x03e700a2, Bias: 0.00000811, Time: 0.00561 seconds
Mask: 0x03e700a3, Bias: 0.00000617, Time: 0.00663 seconds
Mask: 0x03e700a4, Bias: 0.00000303, Time: 0.00649 seconds
Mask: 0x03e700a5, Bias: 0.00001260, Time: 0.00561 seconds
Mask: 0x03e700a6, Bias: 0.00000626, Time: 0.00697 seconds
Mask: 0x03e700a7, Bias: 0.00000703, Time: 0.00510 seconds
Mask: 0x03e700a8, Bias: 0.00000791, Time: 0.00626 seconds
Mask: 0x03e700a9, Bias: 0.00000667, Time: 0.00655 seconds

Mask: 0x0e554f6b, Bias: 0.00000092, Time: 0.00699 seconds	Mask: 0x31cce588, Bias: 0.00001242, Time: 0.00652 seconds	Mask: 0x74924561, Bias: 0.00000717, Time: 0.00654 seconds
Mask: 0x0e554f6c, Bias: 0.00004194, Time: 0.00626 seconds	Mask: 0x31cce589, Bias: 0.00000678, Time: 0.00527 seconds	Mask: 0x74924562, Bias: 0.00000221, Time: 0.00655 seconds
Mask: 0x0e554f6d, Bias: 0.00000512, Time: 0.00683 seconds	Mask: 0x31cce58a, Bias: 0.00000499, Time: 0.00640 seconds	Mask: 0x74924563, Bias: 0.00003892, Time: 0.00585 seconds
Mask: 0x0e554f6e, Bias: 0.00000574, Time: 0.00524 seconds	Mask: 0x31cce58b, Bias: 0.00000916, Time: 0.00695 seconds	Mask: 0x74924564, Bias: 0.00005735, Time: 0.00601 seconds
Mask: 0x0e554f6f, Bias: 0.00000264, Time: 0.00533 seconds	Mask: 0x31cce58c, Bias: 0.00005823, Time: 0.00567 seconds	Mask: 0x74924565, Bias: 0.00000979, Time: 0.00682 seconds
Mask: 0x0e554f70, Bias: 0.00002063, Time: 0.00698 seconds	Mask: 0x31cce58d, Bias: 0.00009884, Time: 0.00627 seconds	Mask: 0x74924566, Bias: 0.00000599, Time: 0.00503 seconds
Mask: 0x0e554f71, Bias: 0.00001650, Time: 0.00677 seconds	Mask: 0x31cce58e, Bias: 0.00000863, Time: 0.00657 seconds	Mask: 0x74924567, Bias: 0.00000673, Time: 0.00629 seconds
Mask: 0x0e554f72, Bias: 0.00000004, Time: 0.00626 seconds	Mask: 0x31cce58f, Bias: 0.00000721, Time: 0.00506 seconds	Mask: 0x74924568, Bias: 0.00000926, Time: 0.00598 seconds
Mask: 0x0e554f73, Bias: 0.00001052, Time: 0.00576 seconds	Mask: 0x31cce590, Bias: 0.00000654, Time: 0.00502 seconds	Mask: 0x74924569, Bias: 0.00000904, Time: 0.00533 seconds
Mask: 0x0e554f74, Bias: 0.00000440, Time: 0.00577 seconds	Mask: 0x31cce591, Bias: 0.00009706, Time: 0.00645 seconds	Mask: 0x7492456a, Bias: 0.00000447, Time: 0.00594 seconds
Mask: 0x0e554f75, Bias: 0.00007733, Time: 0.00560 seconds	Mask: 0x31cce592, Bias: 0.00005288, Time: 0.00580 seconds	Mask: 0x7492456b, Bias: 0.00000653, Time: 0.00583 seconds
Mask: 0x0e554f76, Bias: 0.00000518, Time: 0.00520 seconds	Mask: 0x31cce593, Bias: 0.00000739, Time: 0.00504 seconds	Mask: 0x7492456c, Bias: 0.00000883, Time: 0.00664 seconds
Mask: 0x0e554f77, Bias: 0.00000856, Time: 0.00669 seconds	Mask: 0x31cce594, Bias: 0.00008225, Time: 0.00558 seconds	Mask: 0x7492456d, Bias: 0.00000870, Time: 0.00595 seconds
Mask: 0x0e554f78, Bias: 0.00000167, Time: 0.00643 seconds	Mask: 0x31cce595, Bias: 0.00000344, Time: 0.00682 seconds	Mask: 0x7492456e, Bias: 0.00000127, Time: 0.00521 seconds
Mask: 0x0e554f79, Bias: 0.00000199, Time: 0.00548 seconds	Mask: 0x31cce596, Bias: 0.00000937, Time: 0.00686 seconds	Mask: 0x7492456f, Bias: 0.00000072, Time: 0.00550 seconds
Mask: 0x0e554f7a, Bias: 0.00007132, Time: 0.00537 seconds	Mask: 0x31cce597, Bias: 0.00000820, Time: 0.00533 seconds	Mask: 0x74924570, Bias: 0.00000778, Time: 0.00669 seconds
Mask: 0x0e554f7b, Bias: 0.00000851, Time: 0.00569 seconds	Mask: 0x31cce598, Bias: 0.00002250, Time: 0.00529 seconds	Mask: 0x74924571, Bias: 0.00002790, Time: 0.00597 seconds
Mask: 0x0e554f7c, Bias: 0.00000061, Time: 0.00584 seconds	Mask: 0x31cce599, Bias: 0.00002776, Time: 0.00572 seconds	Mask: 0x74924572, Bias: 0.00000140, Time: 0.00641 seconds
Mask: 0x0e554f7d, Bias: 0.00009799, Time: 0.00590 seconds	Mask: 0x31cce59a, Bias: 0.00003507, Time: 0.00577 seconds	Mask: 0x74924573, Bias: 0.00000322, Time: 0.00541 seconds
Mask: 0x0e554f7e, Bias: 0.00000474, Time: 0.00687 seconds	Mask: 0x31cce59b, Bias: 0.00000251, Time: 0.00568 seconds	Mask: 0x74924574, Bias: 0.00001474, Time: 0.00596 seconds
Mask: 0x0e554f7f, Bias: 0.00004011, Time: 0.00642 seconds	Mask: 0x31cce59c, Bias: 0.00000149, Time: 0.00542 seconds	Mask: 0x74924575, Bias: 0.00000845, Time: 0.00586 seconds
Mask: 0x0e554f80, Bias: 0.00000900, Time: 0.00553 seconds	Mask: 0x31cce59d, Bias: 0.00005729, Time: 0.00634 seconds	Mask: 0x74924576, Bias: 0.00001506, Time: 0.00656 seconds
Mask: 0x0e554f81, Bias: 0.00005214, Time: 0.00562 seconds	Mask: 0x31cce59e, Bias: 0.00000701, Time: 0.00549 seconds	Mask: 0x74924577, Bias: 0.00001164, Time: 0.00533 seconds
Mask: 0x0e554f82, Bias: 0.00002314, Time: 0.00659 seconds	Mask: 0x31cce59f, Bias: 0.00009478, Time: 0.00581 seconds	Mask: 0x74924578, Bias: 0.00006291, Time: 0.00589 seconds
Mask: 0x0e554f83, Bias: 0.00003506, Time: 0.00668 seconds	Mask: 0x31cce5a0, Bias: 0.00007771, Time: 0.00626 seconds	Mask: 0x74924579, Bias: 0.00001737, Time: 0.00587 seconds
Mask: 0x0e554f84, Bias: 0.00005427, Time: 0.00604 seconds	Mask: 0x31cce5a1, Bias: 0.00009006, Time: 0.00589 seconds	Mask: 0x7492457a, Bias: 0.00004476, Time: 0.00554 seconds
Mask: 0x0e554f85, Bias: 0.00000183, Time: 0.00620 seconds	Mask: 0x31cce5a2, Bias: 0.00000584, Time: 0.00657 seconds	Mask: 0x7492457b, Bias: 0.00007318, Time: 0.00562 seconds
Mask: 0x0e554f86, Bias: 0.00003697, Time: 0.00692 seconds	Mask: 0x31cce5a3, Bias: 0.00000035, Time: 0.00541 seconds	Mask: 0x7492457c, Bias: 0.00005798, Time: 0.00560 seconds
Mask: 0x0e554f87, Bias: 0.00005111, Time: 0.00535 seconds	Mask: 0x31cce5a4, Bias: 0.00002552, Time: 0.00682 seconds	Mask: 0x7492457d, Bias: 0.00000181, Time: 0.00679 seconds
Mask: 0x0e554f88, Bias: 0.00002735, Time: 0.00676 seconds	Mask: 0x31cce5a5, Bias: 0.00000847, Time: 0.00558 seconds	Mask: 0x7492457e, Bias: 0.00000001, Time: 0.00503 seconds
Mask: 0x0e554f89, Bias: 0.00005334, Time: 0.00618 seconds	Mask: 0x31cce5a6, Bias: 0.00008902, Time: 0.00582 seconds	Mask: 0x7492457f, Bias: 0.00000473, Time: 0.00661 seconds
Mask: 0x0e554f8a, Bias: 0.00000873, Time: 0.00575 seconds	Mask: 0x31cce5a7, Bias: 0.00000483, Time: 0.00563 seconds	Mask: 0x74924580, Bias: 0.00000004, Time: 0.00530 seconds
Mask: 0x0e554f8b, Bias: 0.00005005, Time: 0.00506 seconds	Mask: 0x31cce5a8, Bias: 0.00000635, Time: 0.00517 seconds	Mask: 0x74924581, Bias: 0.00000609, Time: 0.00643 seconds
Mask: 0x0e554f8c, Bias: 0.00000800, Time: 0.00664 seconds	Mask: 0x31cce5a9, Bias: 0.00000583, Time: 0.00502 seconds	Mask: 0x74924582, Bias: 0.00004390, Time: 0.00604 seconds
Mask: 0x0e554f8d, Bias: 0.00000491, Time: 0.00563 seconds	Mask: 0x31cce5aa, Bias: 0.00000768, Time: 0.00589 seconds	Mask: 0x74924583, Bias: 0.00000799, Time: 0.00668 seconds
Mask: 0x0e554f8e, Bias: 0.00000245, Time: 0.00629 seconds	Mask: 0x31cce5ab, Bias: 0.00000673, Time: 0.00659 seconds	Mask: 0x74924584, Bias: 0.00000694, Time: 0.00526 seconds
Mask: 0x0e554f8f, Bias: 0.00000809, Time: 0.00641 seconds	Mask: 0x31cce5ac, Bias: 0.00000684, Time: 0.00635 seconds	Mask: 0x74924585, Bias: 0.00000770, Time: 0.00581 seconds
Mask: 0x0e554f90, Bias: 0.00000700, Time: 0.00587 seconds	Mask: 0x31cce5ad, Bias: 0.00000924, Time: 0.00632 seconds	Mask: 0x74924586, Bias: 0.00002347, Time: 0.00628 seconds
Mask: 0x0e554f91, Bias: 0.00000202, Time: 0.00674 seconds	Mask: 0x31cce5ae, Bias: 0.00007949, Time: 0.00601 seconds	Mask: 0x74924587, Bias: 0.00000280, Time: 0.00538 seconds
Mask: 0x0e554f92, Bias: 0.00003621, Time: 0.00623 seconds	Mask: 0x31cce5af, Bias: 0.00000480, Time: 0.00657 seconds	Mask: 0x74924588, Bias: 0.00000192, Time: 0.00694 seconds
Mask: 0x0e554f93, Bias: 0.00000176, Time: 0.00532 seconds	Mask: 0x31cce5b0, Bias: 0.00000262, Time: 0.00612 seconds	Mask: 0x74924589, Bias: 0.00003916, Time: 0.00693 seconds
Mask: 0x0e554f94, Bias: 0.00000893, Time: 0.00565 seconds	Mask: 0x31cce5b1, Bias: 0.00005190, Time: 0.00611 seconds	Mask: 0x7492458a, Bias: 0.00000018, Time: 0.00573 seconds
Mask: 0x0e554f95, Bias: 0.00004966, Time: 0.00596 seconds	Mask: 0x31cce5b2, Bias: 0.00005022, Time: 0.00628 seconds	Mask: 0x7492458b, Bias: 0.00006365, Time: 0.00563 seconds
Mask: 0x0e554f96, Bias: 0.00002696, Time: 0.00504 seconds	Mask: 0x31cce5b3, Bias: 0.00007539, Time: 0.00558 seconds	Mask: 0x7492458c, Bias: 0.00000422, Time: 0.00699 seconds
Mask: 0x0e554f97, Bias: 0.00000039, Time: 0.00608 seconds	Mask: 0x31cce5b4, Bias: 0.00000041, Time: 0.00559 seconds	Mask: 0x7492458d, Bias: 0.00000043, Time: 0.00551 seconds
Mask: 0x0e554f98, Bias: 0.00000470, Time: 0.00698 seconds	Mask: 0x31cce5b5, Bias: 0.00000018, Time: 0.00693 seconds	Mask: 0x7492458e, Bias: 0.00000524, Time: 0.00599 seconds
Mask: 0x0e554f99, Bias: 0.00000932, Time: 0.00552 seconds	Mask: 0x31cce5b6, Bias: 0.00002144, Time: 0.00697 seconds	Mask: 0x7492458f, Bias: 0.00000664, Time: 0.00669 seconds
Mask: 0x0e554f9a, Bias: 0.00005390, Time: 0.00513 seconds	Mask: 0x31cce5b7, Bias: 0.00000560, Time: 0.00667 seconds	Mask: 0x74924590, Bias: 0.00000947, Time: 0.00597 seconds
Mask: 0x0e554f9b, Bias: 0.00005645, Time: 0.00551 seconds	Mask: 0x31cce5b8, Bias: 0.00004373, Time: 0.00540 seconds	Mask: 0x74924591, Bias: 0.00004002, Time: 0.00606 seconds
Mask: 0x0e554f9c, Bias: 0.00000986, Time: 0.00561 seconds	Mask: 0x31cce5b9, Bias: 0.00004183, Time: 0.00526 seconds	Mask: 0x74924592, Bias: 0.00005447, Time: 0.00688 seconds
Mask: 0x0e554f9d, Bias: 0.00000500, Time: 0.00513 seconds	Mask: 0x31cce5ba, Bias: 0.00000676, Time: 0.00526 seconds	Mask: 0x74924593, Bias: 0.00000785, Time: 0.00603 seconds
Mask: 0x0e554f9e, Bias: 0.00000106, Time: 0.00526 seconds	Mask: 0x31cce5bb, Bias: 0.00009822, Time: 0.00501 seconds	Mask: 0x74924594, Bias: 0.00000362, Time: 0.00650 seconds
Mask: 0x0e554f9f, Bias: 0.00000698, Time: 0.00699 seconds	Mask: 0x31cce5bc, Bias: 0.00000937, Time: 0.00509 seconds	Mask: 0x74924595, Bias: 0.00000145, Time: 0.00604 seconds
Mask: 0x0e554fa0, Bias: 0.00000835, Time: 0.00606 seconds	Mask: 0x31cce5bd, Bias: 0.00000636, Time: 0.00637 seconds	Mask: 0x74924596, Bias: 0.00001445, Time: 0.00693 seconds
Mask: 0x0e554fa1, Bias: 0.00004698, Time: 0.00688 seconds	Mask: 0x31cce5be, Bias: 0.00000608, Time: 0.00622 seconds	Mask: 0x74924597, Bias: 0.00000415, Time: 0.00673 seconds
Mask: 0x0e554fa2, Bias: 0.00009314, Time: 0.00577 seconds	Mask: 0x31cce5bf, Bias: 0.00000740, Time: 0.00674 seconds	Mask: 0x74924598, Bias: 0.00000661, Time: 0.00536 seconds
Mask: 0x0e554fa3, Bias: 0.00005104, Time: 0.00669 seconds	Mask: 0x31cce5c0, Bias: 0.00000762, Time: 0.00502 seconds	Mask: 0x74924599, Bias: 0.00002568, Time: 0.00612 seconds
Mask: 0x0e554fa4, Bias: 0.00007946, Time: 0.00668 seconds	Mask: 0x31cce5c1, Bias: 0.00006996, Time: 0.00526 seconds	Mask: 0x7492459a, Bias: 0.00001684, Time: 0.00528 seconds
Mask: 0x0e554fa5, Bias: 0.00003324, Time: 0.00657 seconds	Mask: 0x31cce5c2, Bias: 0.00005659, Time: 0.00599 seconds	Mask: 0x7492459b, Bias: 0.00000515, Time: 0.00683 seconds
Mask: 0x0e554fa6, Bias: 0.00000266, Time: 0.00660 seconds	Mask: 0x31cce5c3, Bias: 0.00000016, Time: 0.00640 seconds	Mask: 0x7492459c, Bias: 0.00005044, Time: 0.00592 seconds

Mask: 0xffffffff1, Bias: 0.00000487, Time: 0.00621 seconds
Mask: 0xffffffff2, Bias: 0.00003574, Time: 0.00663 seconds
Mask: 0xffffffff3, Bias: 0.00000898, Time: 0.00688 seconds
Mask: 0xffffffff4, Bias: 0.00006397, Time: 0.00572 seconds
Mask: 0xffffffff5, Bias: 0.00000041, Time: 0.00699 seconds
Mask: 0xffffffff6, Bias: 0.00000960, Time: 0.00670 seconds
Mask: 0xffffffff7, Bias: 0.00000140, Time: 0.00613 seconds
Mask: 0xffffffff8, Bias: 0.00000457, Time: 0.00517 seconds
Mask: 0xffffffff9, Bias: 0.00000784, Time: 0.00568 seconds
Mask: 0xffffffffffa, Bias: 0.00000232, Time: 0.00548 seconds
Mask: 0xffffffffffb, Bias: 0.00000704, Time: 0.00619 seconds
Mask: 0xffffffffffc, Bias: 0.00000119, Time: 0.00665 seconds
Mask: 0xffffffffffd, Bias: 0.00000236, Time: 0.00544 seconds
Mask: 0xffffffffffe, Bias: 0.00000347, Time: 0.00558 seconds
Mask: 0xfffffffffff, Bias: 0.00003969, Time: 0.00614 seconds
Mask: 0x100000000, Bias: 0.00000898, Time: 0.00558 seconds
Completed! Time: 9426.32060 seconds