Московский авиационный институт

(Национальный исследовательский университет)

Факультет: «Информационные технологии и прикладная математика»

Лабораторная работа № 3

по курсу «Криптография»

Студент: Алексюнина Юлия

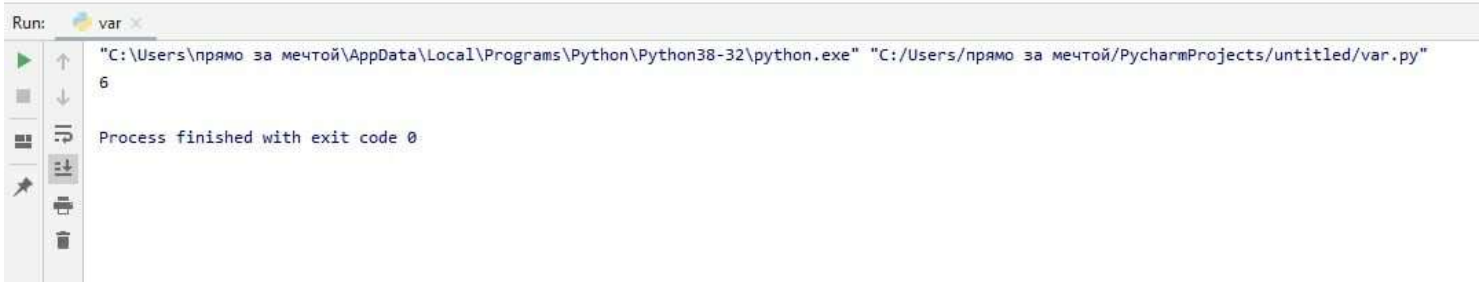
Группа: 8О-307Б

Преподаватель: Борисов А.В.

Оценка:

Москва, 2020

Сначала был получен номер варианта:



Вариант 6: SHA-2
Мною был выбран алгоритм SHA-256 ввиду его распространенности.

Исходный код:

sha256.h

```
/*********************************************************************
* Filename:   sha256.h
* Author:     Brad Conte (brad AT bradconte.com)
* Copyright:
* Disclaimer: This code is presented "as is" without any guarantees.
* Details:    Defines the API for the corresponding SHA1 implementation.
*********************************************************************/

#ifndef SHA256_H
#define SHA256_H

/*************************** HEADER FILES ***************************/
#include <stddef.h>

/**************************** MACROS ******************************/
#define SHA256_BLOCK_SIZE 32            // SHA256 outputs a 32 byte digest

/**************************** DATA TYPES ****************************/
typedef unsigned char BYTE;             // 8-bit byte
typedef unsigned int  WORD;             // 32-bit word, change to "long" for 16-bit
machines

typedef struct {
    BYTE data[64];
    WORD datalen;
    unsigned long long bitlen;
    WORD state[8];
} SHA256_CTX;

/*********************** FUNCTION DECLARATIONS **********************/
void sha256_init(SHA256_CTX *ctx);
void sha256_update(SHA256_CTX *ctx, const BYTE data[], size_t len);
```

```
void sha256_final(SHA256_CTX *ctx, BYTE hash[]);

#endif   // SHA256_H
```

sha256.c

```
/********************************************************************* * Filename:
sha256.c
*      Author:Brad Conte (brad AT bradconte.com)

*      Copyright:
*      Disclaimer: This code is presented "as is" without any guarantees.
*      Details:Implementation of the SHA-256 hashing algorithm.

SHA-256 is one of the three algorithms in the SHA2 specification. The others, SHA-384 and
SHA-512, are not offered in this implementation.
Algorithm specification can be found here:

*      http://csrc.nist.gov/publications/fips/fips180-2/fips180-2withchangenotice.pdf
This implementation uses little endian byte order.

*********************************************************************/

/************************* HEADER FILES *************************/
#include <stdlib.h>
#include <memory.h>

#include "sha256.h"

/**************************** MACROS ****************************/
#define ROTLEFT(a,b) (((a) << (b)) | ((a) >> (32-(b))))
#define ROTRIGHT(a,b) (((a) >> (b)) | ((a) << (32-(b))))

#define CH(x,y,z) (((x) & (y)) ^ (~(x) & (z)))

#define MAJ(x,y,z) (((x) & (y)) ^ ((x) & (z)) ^ ((y) & (z)))
#define EP0(x) (ROTRIGHT(x,2) ^ ROTRIGHT(x,13) ^ ROTRIGHT(x,22))
#define EP1(x) (ROTRIGHT(x,6) ^ ROTRIGHT(x,11) ^ ROTRIGHT(x,25))

#define SIG0(x) (ROTRIGHT(x,7) ^ ROTRIGHT(x,18) ^ ((x) >> 3))
#define SIG1(x) (ROTRIGHT(x,17) ^ ROTRIGHT(x,19) ^ ((x) >> 10))

/**************************** VARIABLES *****************************/
static const WORD k[64] = {

0x428a2f98,0x71374491,0xb5c0fbcf,0xe9b5dba5,0x3956c25b,0x59f111f1,0x923f82a4, 0xab1c5ed5,

0xd807aa98,0x12835b01,0x243185be,0x550c7dc3,0x72be5d74,0x80deb1fe,0x9bdc06a7, 0xc19bf174,

0xe49b69c1,0xefbe4786,0x0fc19dc6,0x240ca1cc,0x2de92c6f,0x4a7484aa,0x5cb0a9dc, 0x76f988da,

0x983e5152,0xa831c66d,0xb00327c8,0xbf597fc7,0xc6e00bf3,0xd5a79147,0x06ca6351, 0x14292967,

0x27b70a85,0x2e1b2138,0x4d2c6dfc,0x53380d13,0x650a7354,0x766a0abb,0x81c2c92e, 0x92722c85,

0xa2bfe8a1,0xa81a664b,0xc24b8b70,0xc76c51a3,0xd192e819,0xd6990624,0xf40e3585, 0x106aa070,

0x19a4c116,0x1e376c08,0x2748774c,0x34b0bcb5,0x391c0cb3,0x4ed8aa4a,0x5b9cca4f, 0x682e6ff3,

0x748f82ee,0x78a5636f,0x84c87814,0x8cc70208,0x90befffa,0xa4506ceb,0xbef9a3f7, 0xc67178f2
};

/*********************** FUNCTION DEFINITIONS ***********************/
```

```
void sha256_transform(SHA256_CTX* ctx, const BYTE data[], size_t times)
{
    WORD a, b, c, d, e, f, g, h, i, j, t1, t2, m[64];

    for (i = 0, j = 0; i < 16; ++i, j += 4)

        m[i] = (data[j] << 24) | (data[j + 1] << 16) | (data[j + 2] << 8) | (data[j +
3]);
    for (; i < 64; ++i)
        m[i] = SIG1(m[i - 2]) + m[i - 7] + SIG0(m[i - 15]) + m[i - 16];

    a = ctx->state[0];

    b = ctx->state[1];
    c = ctx->state[2];
    d = ctx->state[3];
    e = ctx->state[4];
    f = ctx->state[5];
    g = ctx->state[6];
    h = ctx->state[7];

    for (i = 0; i < times; ++i) {
        t1 = h + EP1(e) + CH(e, f, g) + k[i] + m[i];
        t2 = EP0(a) + MAJ(a, b, c);
        h = g;
        g = f;

        f = e;
        e = d + t1;
        d = c;
        c = b;
        b = a;

        a = t1 + t2;
    }

    ctx->state[0] += a;
    ctx->state[1] += b;
    ctx->state[2] += c;

    ctx->state[3] += d;

    ctx->state[4] += e;
    ctx->state[5] += f;

    ctx->state[6] += g;
    ctx->state[7] += h;
}

void sha256_init(SHA256_CTX* ctx)

{
    ctx->datalen = 0;
    ctx->bitlen = 0;
    ctx->state[0] = 0x6a09e667;
    ctx->state[1] = 0xbb67ae85;

    ctx->state[2] = 0x3c6ef372;
    ctx->state[3] = 0xa54ff53a;
    ctx->state[4] = 0x510e527f;
    ctx->state[5] = 0x9b05688c;
    ctx->state[6] = 0x1f83d9ab;

    ctx->state[7] = 0x5be0cd19;
```

```
}

void sha256_update(SHA256_CTX* ctx, const BYTE data[], size_t len, size_t
    times)

{
    WORD i;

    for (i = 0; i < len; ++i) {
        ctx->data[ctx->datalen] = data[i]; ctx->datalen++;
        if (ctx->datalen == 64) {

            sha256_transform(ctx, ctx->data, times);
            ctx->bitlen += 512;
            ctx->datalen = 0;

        }
    }
}

void sha256_final(SHA256_CTX* ctx, BYTE hash[], size_t times) {
    WORD i;

    i = ctx->datalen;

    // Pad whatever data is left in the buffer.
    if (ctx->datalen < 56) {

        ctx->data[i++] = 0x80; while (i < 56)
            ctx->data[i++] = 0x00;

    }
    else {

        ctx->data[i++] = 0x80; while (i < times) // !

            ctx->data[i++] = 0x00; sha256_transform(ctx, ctx->data, times); memset(ctx-
>data, 0, 56);

    }

    // Append to the padding the total message's length in bits and transform.

    ctx->bitlen += ctx->datalen * 8; ctx->data[63] = ctx->bitlen; ctx->data[62] = ctx-
>bitlen >> 8; ctx->data[61] = ctx->bitlen >> 16; ctx->data[60] = ctx->bitlen >> 24;

    ctx->data[59] = ctx->bitlen >> 32; ctx->data[58] = ctx->bitlen >> 40; ctx->data[57] =
ctx->bitlen >> 48; ctx->data[56] = ctx->bitlen >> 56; sha256_transform(ctx, ctx->data,
times);

    // Since this implementation uses little endian byte ordering and SHA uses big
endian,

    // reverse all the bytes when copying the final state to the output hash.

    for (i = 0; i < 4; ++i) {

        hash[i] = (ctx->state[0] >> (24 - i * 8)) & 0x000000ff;
        hash[i + 4] = (ctx->state[1] >> (24 - i * 8)) & 0x000000ff;
        hash[i + 8] = (ctx->state[2] >> (24 - i * 8)) & 0x000000ff;

        hash[i + 12] = (ctx->state[3] >> (24 - i * 8)) & 0x000000ff;
        hash[i + 16] = (ctx->state[4] >> (24 - i * 8)) & 0x000000ff;
        hash[i + 20] = (ctx->state[5] >> (24 - i * 8)) & 0x000000ff;
        hash[i + 24] = (ctx->state[6] >> (24 - i * 8)) & 0x000000ff;
```

```
        hash[i + 28] = (ctx->state[7] >> (24 - i * 8)) & 0x000000ff;

    }
}
```

lab3.c

```
/*********************** HEADER FILES ***********************/
#define _CRT_SECURE_NO_WARNINGS
#include <stdio.h>
#include <memory.h>
#include <string.h>
#include <stdbool.h>
#include "sha256.h"

/*********************** FUNCTION DEFINITIONS ***********************/
int    sha256_test(const BYTE text[], char filename[]) {

    BYTE buf1[SHA256_BLOCK_SIZE];

    BYTE buf2[SHA256_BLOCK_SIZE];

    SHA256_CTX ctx;

    FILE* f = fopen(filename, "wb");

    if (f) {
        size_t text_length = strlen(text);

        sha256_init(&ctx);

        sha256_update(&ctx, text, text_length, 16); sha256_final(&ctx, buf1, 16);

        for (size_t times = 17; times <= 64; times++) {
            sha256_init(&ctx);

            sha256_update(&ctx, text, text_length, times); sha256_final(&ctx, buf2,
times);
            size_t cnt = 0;

            for (int i = 0; i < SHA256_BLOCK_SIZE; i++) {
                for (int j = 0; j < 8; j++) {

                    if (((buf1[i] << j) & 0x80) != ((buf2[i] << j) & 0x80)) {

                        cnt++;

                    }
                }

            }
            fprintf(f, "%d %d\n", times, cnt);

            strncpy(buf1, buf2, SHA256_BLOCK_SIZE);
            buf1[SHA256_BLOCK_SIZE - 1] = '\0';
        }

        fflush(f);
        fclose(f);
    }
    else {
        printf("Can't open file.");
    }
```

```
    return 1;
}


int main()
{
    // 2 chars
    BYTE text1[] = { "ju" };

    char filename1[] = { "C:/Users/hui/Desktop/diffs1.csv" }; sha256_test(text1,
filename1);
    // 20 chars
    BYTE text2[] = { "heygoodnewseveryone!" };

    char filename2[] = { "C:/Users/hui/Desktop/diffs2.csv" }; sha256_test(text2,
filename2);

    // 200 chars
    BYTE text3[] = {
"hello,darkness,myoldfriend/i'vecometotalkwithyouagain/becauseavisionsoftlycreeping/lefti
tsseedswhileiwassleeping/andthevisionthatwasplantedinmybrain/stillremains/withinthesoundo
fsilence/soundofsilence" };

    char filename3[] = { "C:/Users/hui/Desktop/diffs3.csv" }; sha256_test(text3,
filename3);
    return 0;
}
```

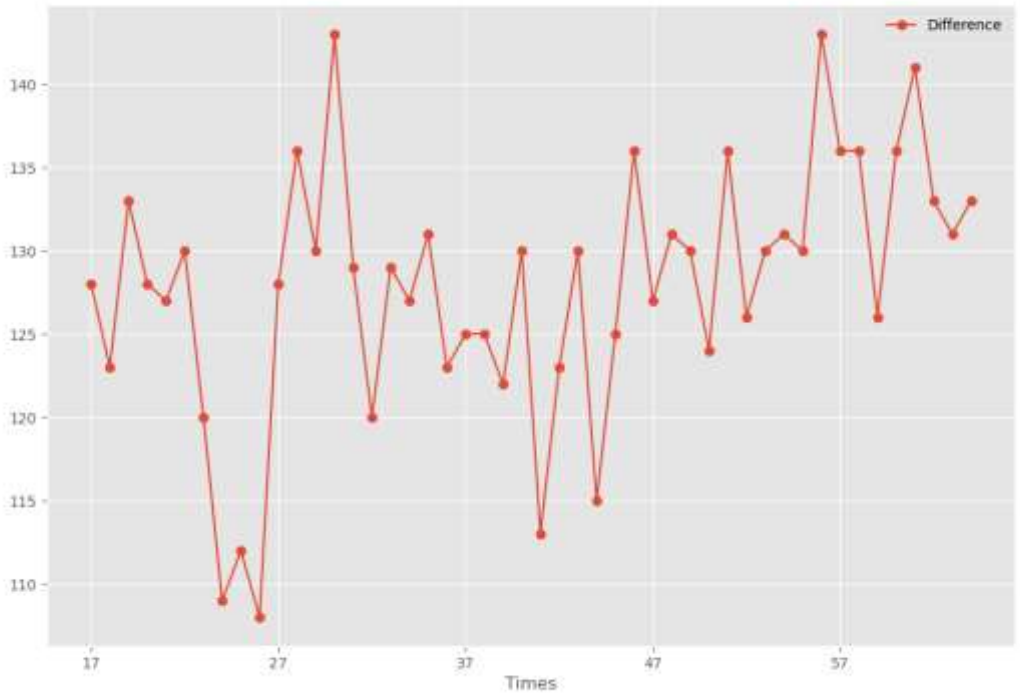
Исходный алгоритм был модифицирован таким образом, чтобы можно было задавать количество раундов. Введенное количество раундов должно быть не меньше 16, так как в раунде используется вспомогательный массив, который должен быть по крайней мере длины 16. Также количество раундов не должно превышать 64, так как алгоритм опирается на массив дробных частей кубических корней простых чисел k длиной 64. Теоретически, можно продолжить этот массив для большего количества раундов.
В программе были созданы файлы с разностями в битах для каждого раунда для трех тестовых строк.
После этого при помощи python были построены графики зависимости разности в битах от количества раундов:

```
import pandas as pd
import matplotlib.pyplot as plt
import matplotlib

matplotlib.style.use('ggplot')

fn = r'C:/Users/hui/Desktop/diffs1.csv'
df = pd.read_csv(fn, sep='\s+', header=None, names=['Times', 'Difference'], parse_dates=['Times'])
df.plot(x='Times', y='Difference', rot=0, figsize=(12, 8), grid=True, marker='o')
plt.savefig('1.png')
plt.close()

fn = r'C:/Users/hui/Desktop/diffs2.csv'
df = pd.read_csv(fn, sep='\s+', header=None, names=['Times', 'Difference'], parse_dates=['Times'])
df.plot(x='Times', y='Difference', rot=0, figsize=(12, 8), grid=True, marker='o')
plt.savefig('2.png')
plt.close()

fn = r'C:/Users/hui/Desktop/diffs3.csv'
```

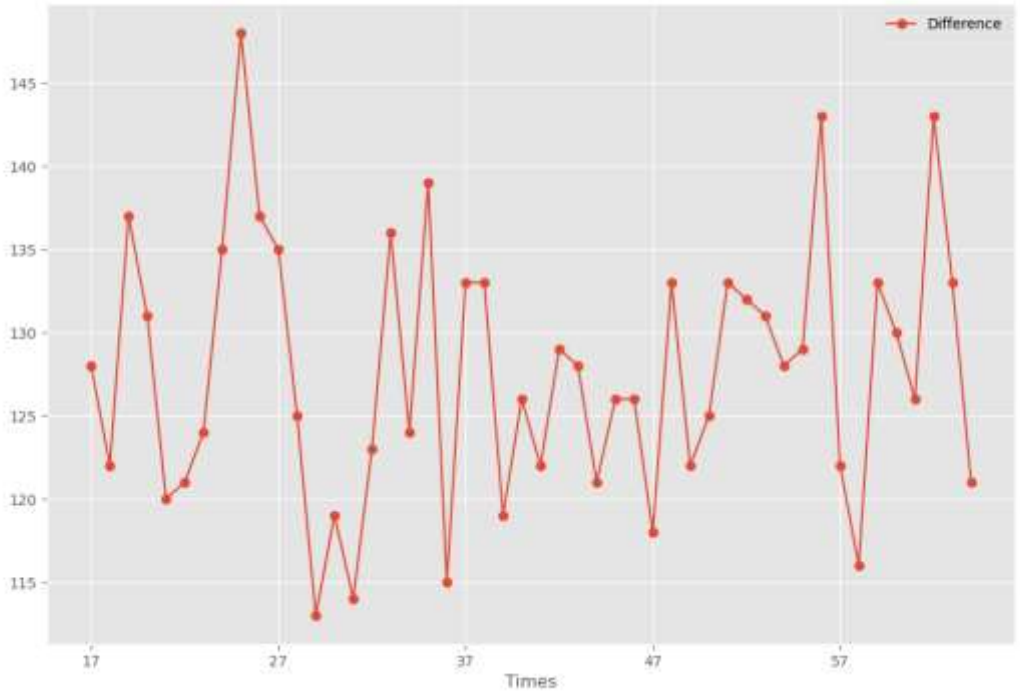
```
df = pd.read_csv(fn, sep='\s+', header=None, names=['Times', 'Difference'], parse_dates=['Times'])
df.plot(x='Times', y='Difference', rot=0, figsize=(12, 8), grid=True, marker='o')
plt.savefig('3.png')
```

Графики:

Для строки `"ju":`

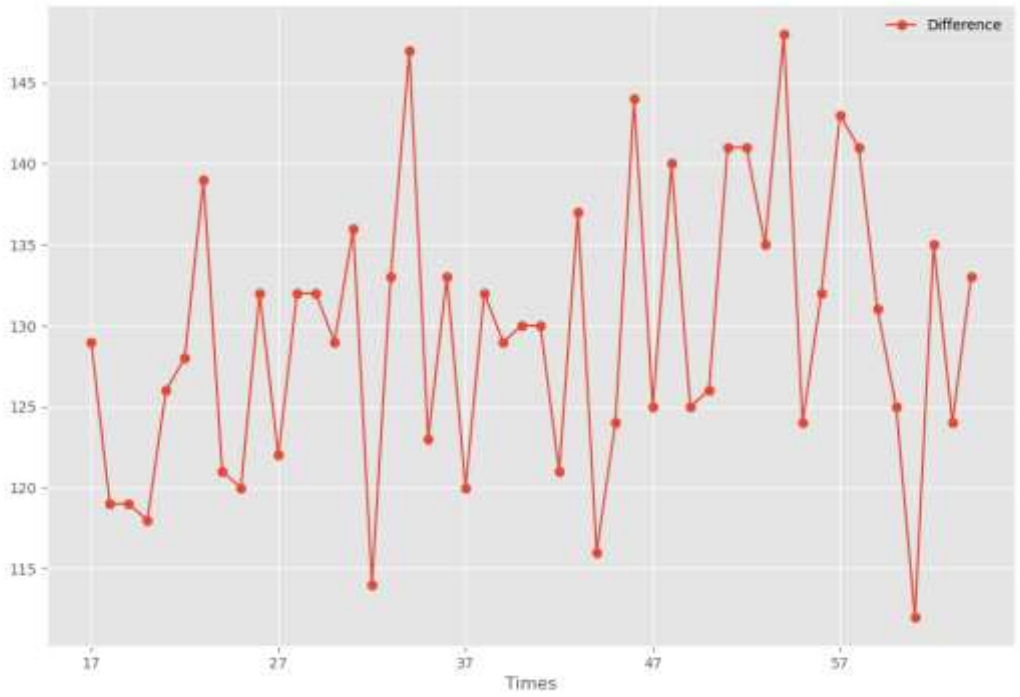


Для строки `"heygoodnewseveryone!":`



Для строки

```
"hello,darkness,myoldfriend/i'vecometotalkwithyouagain/becauseavisionsoftlycreeping/leftitsseedswhileiwassleeping/andthevisionthatwasplantedinmybrain/stillremains/withinthesoundofsilence/soundofsilence":
```



Как видно из графиков, при добавление раундов изменяется в среднем половина битов.

Дифференциальный криптоанализ:

До 2008 года не было известно об уязвимости алгоритмов SHA-2. Сейчас же известно, что существуют различные атаки, в том числе дифференциальные, которые на определенном раунде находят коллизии. На данный момент самой «быстрой» коллизией, обнаруженной с помощью дифференциального криптоанализа, является коллизия на 27 раунде в SHA-512, о чем сказано в “Analysis of SHA-512/224 and SHA-512/256” (https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-662-48800-3_25).

Выводы

Во время выполнения лабораторной работы я познакомилась с семейством алгоритмов SHA-2, модифицировала реализацию алгоритма SHA-256 таким образом, чтобы можно было задать количество раундов. Также я познакомилась с криптостойкостью алгоритмов, дифференциальным криптоанализом и различными атаками на хеш-функции.