Министерство образования и науки Российской Федерации

Федеральное государственное бюджетное образовательное

учреждение высшего профессионального образования

«Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых»

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ВЫПОЛНЕНИЮ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ ПО ДИСЦИПЛИНЕ «ЗАЩИТА ИНФОРМАЦИИ»

Владимир 2017

УДК 004.056.5

ББК 2458 73

Составители: А.О. Кучерик, Д.Н. Бухаров, Новикова О.А., В.Д. Самышкин

Рецензент: директор ИПМФИ Н.Н. Давыдов

Печатается по решению редакционного совета ВлГУ

Методические указания по выполнению лабораторных работ по дисциплине «Защита информации» / Владим. гос. уни-т имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых; А.О. Кучерик, Д.Н. Бухаров, О.А. Новикова, В.Д. Самышкин – Владимир: Изд-во ВлГУ, 2017. – 69 с.

Рассмотрены основы разделов защиты информации

К лабораторным работам приведена краткая теория, что упрощает их выполнение.

Предназначены для проведения лабораторных занятий по направлениям **10.03.01** – "Информационная безопасность" (бакалавриат), **10.04.01** – "Информационная безопасность" (магистратура) и специальности **10.04.05** "Информационно-аналитические системы безопасности" (специалитет).

Рекомендовано для формирования профессиональных компетенций в соответствии с ФГОС 3-го поколения.

Ил. 12. Табл. 10. Библиогр.: 10 назв.

УДК 004.056.5

ББК 2458 73

Оглавление

Введение

В методических указаниях приведены лабораторные работы по курсу «Защита информации».

Курс знакомит с теорией криптографической защиты данных. Изучается возможность применения ее методов на практике.

Лабораторные работы сопровождаются краткой теорией, что делает более удобным их выполнение.

Успешное решение практических задач по курсу требует владения какими-либо пакетами прикладных программ компьютерной математики и программированием на одном из языков высокого уровня. Кроме рассмотренной теоретической части также необходимо использовать литературу, которую рекомендует преподаватель на лекции.

В отчет по лабораторной работе необходимо внести:

- Номер и название работы;
- Цель работы;
- Теоретическую часть;
- Текст программы, таблицы, расчетные формулы, графики и т.д.
- Вывод.

1. Лабораторная работа №1 Линейные конгруэнтные генераторы псевдослучайных последовательностей.

1.1. Цель работы

Изучение и программная реализация линейных конгруэнтных генераторов псевдослучайных последовательностей.

1.2. Краткие теоретические сведения

Линейными конгруэнтными генераторами псевдослучайных последовательностей называются генераторы следующего вида:

$$X_n = (a*X_{n-1}+b) \bmod m,$$

где X_n - n-й элемент последовательности, а X_{n-1} - n-1-й элемент последовательности. Параметры a (множитель), b (инкремент) и m (модуль) - константы. Ключом для генератора служит значение X_0.

Период такого генератора не превышает m. Если параметры a, b и m подобраны правильно, то генератор будет генератором с максимальным периодом (длиной) и его период будет равен m. Для этого, например, необходимо, что бы значение b было взаимно простым с m. В таблице приведены некоторые "хорошие" константы линейных конгруэнтных генераторов. Все они обеспечивают максимальный период генератора и, что наиболее важно, выполнение для таких генераторов спектрального теста на случайность для размерностей 2, 3, 4, 5 и 6. Таблица организована по максимальному произведению, которое не вызывает переполнения в слове указанной длины.

Таблица 1.

Переполняется при	**a**	**b**	**m**
2^{20}	106	1283	6075
2^{21}	211	1662	7875
2^{22}	421	1663	7875
2^{23}	430	2531	11979
	936	1399	6655
	1366	1283	6075
2^{24}	171	11213	53125
	859	2531	11979
	419	6173	29289
	967	3041	14406
2^{25}	141	28411	134456
	625	6571	31104
	1541	2957	14000
	1741	2731	12960
	1291	4621	21870
	205	29573	139968
2^{26}	421	17117	81000
	1255	6173	29282
	281	28411	134456
2^{27}	1093	18257	86436
	421	54773	259200
	1021	24631	116640
	1021	25673	121500

Преимуществом линейных конгруэнтных генераторов является высокое быстродействие за счёт небольшого количества операций на один бит.

Однако, линейных конгруэнтные генераторы нельзя использовать в криптографии, т.к. они предсказуемы. Впервые такой генератор был взломан Джимом Ридсом (Jim Reeds), позднее Джоан Бояр (Joan Boyar) удалось также вскрыть квадратичные и кубические генераторы. Позднее идеи Бояр позволили разработать способы вскрытия любого полиномиального

генератора, чем была доказана неприменимость таких генераторов в криптографии. [1]

Тем не менее, линейные конгруэнтные генераторы остаются весьма полезными для других задач, например, в системах моделирования. Они эффективны и в большинстве используемых эмпирических тестах, демонстрируя хорошие статистические характеристики.

Объединение линейных конгруэнтных генераторов

Для увеличения длины периода и улучшения характеристик в некоторых статистических тестах были предприняты попытки объединения линейных конгруэнтных генераторов (при этом криптографическая стойкости их не повышается).

Так для 32-битовых компьютеров может быть использован следующий генератор псевдослучайных последовательностей, который объединяет два линейных конгруэнтных генератора с периодами 2^{31}-85 и 2^{31}-249. Период этого генератора равен произведению периодов объединяемых генераторов.

```
    /* "long" должно быть 32-битовым целым
static long s1 = 1;
static long s2 = 1;
/* MODMULT (a, b, c, m, s) рассчитывает s*b mod m при условии, что m = a*b+c и 0<=c<m
#define MODMULT(a, b, c, m, s) q = s/a; s = b*(s-a*q)-c*q; if (s<0) s+=m;
/* Возвращает действительное псевдослучайное значение в диапазоне (0,1) */
double CombLCG (void)
{
  long q;
  long z;
  MODMULT(53668, 40014, 12211, 2147483563L, s1)
  MODMULT(52774, 40692, 3791, 2147483399L, s2)
  z = s1 - s2;
  if(z<1)
```

```
   z += 2147483562;
  return z*4.656613e-10;
}
/* Инициализирует CombLCG, вызывается один раз перед использованием */
void InitLCG(long InitS1, long InitS2)
{  s1 = InitS1; s2 = InitS2; }
```

Этот генератор работает при условии, что компьютер способен представить все целые числа в диапазоне от $-2^{31}+85$ до $2^{31}-249$. Переменные s1 и s2 глобальные и содержат текущее состояние генератора. Перед вызовом CombLCG() необходимо инициализировать состояние генератора вызовом InitLCG() и передать начальные значения s1 и s2. Для s1 начальное значение берётся из диапазона [1, 2147483562], а для s2 - из диапазона [1, 2147483398]. Период генератора близок к 10^{18}.

1.3. Выполнение работы

Для выполнения работы в личном рабочем пространстве создать проект с именем Lab01 и перенести код примера.

Провести серию экспериментов (не менее 5), изменяя длину последовательности и начальные значения s1, s2. Для каждого эксперимента вычислить математическое ожидание и дисперсию.

Отчётные материалы

Преподавателю демонстрируется работающая программа и предоставляется печатный отчёт. Отчёт содержит код программы и таблицу с результатами экспериментов.

Контрольные вопросы

1. Каковы особенности линейного конгруэнтного генератора?
2. Для чего объединяются линейные конгруэнтные генераторы?

3. Каковы преимущества линейного конгруэнтного генератора?

4. Как вычисляются математическое ожидание и дисперсия?

2. Лабораторная работа №2 Шифр Цезаря

2.1. Цель работы

Изучение и программная реализация шифра Цезаря

2.2. Краткие теоретические сведения

Суть алгоритма: пользователь вводит натуральное число n – это количество символов, на которое мы сдвигаем данный символ. Например, если n = 2, то буква ‘б’ превращается в букву ‘г’. Будем считать, что буквы идут по кругу, то есть за буквой ‘я’ следует буква ‘а’. Программа должна уметь как зашифровывать, так и расшифровывать текст. Шифровать будем только русские и английские буквы (другие символы: знаки препинания, пробелы и т.п. – шифровать не будем, оставим их без изменения). Ввод/вывод производим из файла.[2]

Приступим к написанию программы. Подключим необходимые библиотеки и определим две константы – количество букв в английском и русском алфавитах соответственно.

Примечание. Константу RUS сделаем равной 32, потому что буква ‘ё’ в таблице символов ASCII в кодировке Windows 1251 находится за границей русского алфавита.

```
#include <stdio.h>
#include <locale>

#define ENG 26
#define RUS 32
```

Теперь напишем функцию, которая будет шифровать текст из входного файла. В качестве аргумента она будет принимать число n – количество символов, на которое сдвигать символы в тексте:

```
void encrypt (int n)
{
   FILE *fp1, *fp2;
   fopen_s(&fp1, "input.txt", "r");    fopen_s(&fp2, "output.txt", "w");
   int flag; char c;
   c = getc(fp1);
   while (!feof(fp1))
   {
      flag = 0; //обработан ли текущий символ
      if (c >= 'A' && c <= 'Z')
      {
         c = c + (n % ENG);
         if (c > 'Z') c = 'A' + (c - 'Z') - 1;
         fprintf (fp2, "%c", c);
         flag = 1;
      }
      if (c >= 'a' && c <= 'z')
      {
         c = c + (n % ENG);
         if (c > 'z') c = 'a' + (c - 'z') - 1;
         fprintf (fp2, "%c", c);           flag = 1;
      }
      if (c >= 'А' && c <= 'Я')
      {
```

```
            c = c + (n % RUS);
            if (c > 'Я') c = 'А' + (c - 'Я') - 1;
            fprintf (fp2, "%c", c); flag = 1;
        }
        if (c>='a' && c<='я')
        {
            c = c + (n % RUS);
            if (c > 'я') c = 'а' + (c - 'я') - 1;
            fprintf (fp2, "%c", c); flag = 1;
        }
        if (!flag) fprintf (fp2, "%c", c);
        c = getc(fp1);
    }
    fclose (fp1);   fclose (fp2);
}
```

Открываем входной файл “input.txt” для чтения, открываем (или если он отсутствует, то создаем) выходной файл “output.txt” для записи. Функцией getc() будем по одному считывать символы из входного файла. Запускаем цикл с предусловием while (!feof(fp1)), функция в скобках проверяет, не достигли ли мы конца файла. В if’ах проверяем принадлежность считанного символа одной из групп символов, если считанный символ ‘c’ – это русская или английская буква, то выполняем ее шифрование, сдвигаем: c = c + (n % ENG). Остаток от деления на количество букв в алфавите берем для того, чтобы при n >= ENG убрать лишний “круг(и)” прохода по алфавиту. Если зашифрованная буква вышла за

границы алфавита, то делаем круг и возвращаемся к началу: if (c > ‘Z’) c = ‘A’ + (c – ‘Z’) – 1;. Записываем символ в выходной файл.

Если же считанный символ ‘c’ не является буквой, а является другим символом (для контроля этого мы вводили переменную flag), то в этом случае выполнится условие if (!flag) fprintf (fp2, “%c”, c); и мы запишем символ ‘c’ в выходной файл без изменения.

В конце функции закрываем файлы “input.txt” и “output.txt”.

Теперь напишем функцию, которая расшифровывает текст. Здесь практически все то же самое, за исключение того, что теперь мы не “прибавляем” символы, а “вычитаем”:

```
void decipher (int n)
{
   FILE *fp1, *fp2;
   fopen_s(&fp1, "input.txt", "r");
   fopen_s(&fp2, "output.txt", "w");
   int flag;
   char c;
   c = getc(fp1);
   while (!feof(fp1))
   {
      flag = 0;
      if (c >= 'A' && c <= 'Z')
      {
         c = c - (n % ENG);
         if (c < 'A') c = 'Z' - ('A' - c) + 1;
         fprintf (fp2, "%c", c);
         flag = 1;
      }
      if (c >= 'a' && c <= 'z')
      {
         c = c - (n % ENG);
```

```
            if (c < 'a') c = 'z' - ('a' - c) + 1;
            fprintf (fp2, "%c", c);
            flag = 1;
        }
        if (c >= 'A' && c <= 'Я')
        {
            c = c - (n % RUS);
            if (c < 'A') c = 'Я' - ('A' - c) + 1;
            fprintf (fp2, "%c", c);
            flag = 1;
        }
        if (c >= 'a' && c <= 'я')
        {
            c = c - (n % RUS);
            if (c < 'a') c = 'я' - ('a' - c) + 1;
            fprintf (fp2, "%c", c);
            flag = 1;
        }
        if (!flag) fprintf (fp2, "%c", c);
        c = getc(fp1);
    }
    fclose (fp1);
    fclose (fp2);
}
```

2.3. Выполнение работы

Реализовать программное приложение по шифрованию текста шифром Цезаря (для русского и английского языков). Ввод текста и ключа осуществить через файлы.

Отчётные материалы

Преподавателю демонстрируется работающая программа и предоставляется печатный отчёт. Отчёт содержит код программы и результаты работы программы.

Контрольные вопросы

1. Что такое циклический сдвиг?
2. Из каких шагов состоит алгоритм шифрование Цезаря?
3. По какой формуле производится шифрование Цезаря?
4. Какие функции используются при программировании шифра Цезаря для организации хранения ключа и текста?

3. Лабораторная работа №3 Сеть Фейстеля

3.1. Цель работы

Изучение и программная реализация сети Фейстеля

3.2. Краткие теоретические сведения

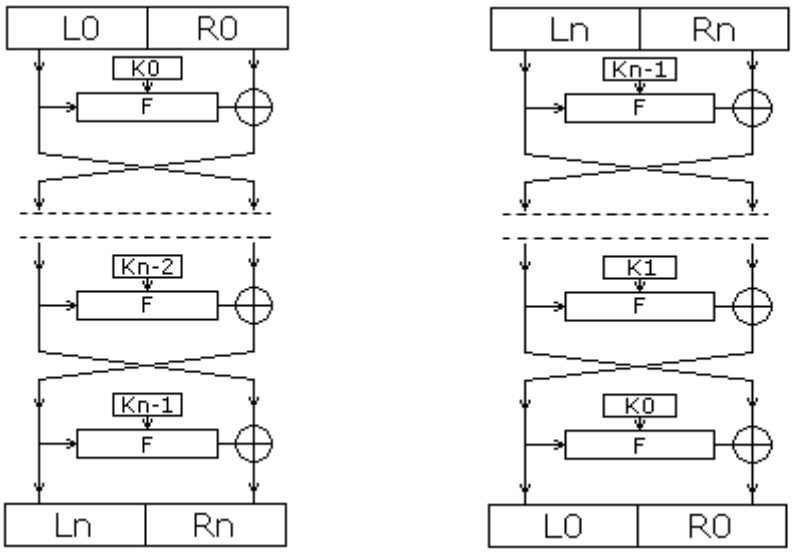
Рассмотрим случай, когда мы хотим зашифровать некоторую информацию, представленную в двоичном виде в компьютерной памяти (например, файл) или электронике, как последовательность нулей и единиц.

- Вся информация разбивается на блоки фиксированной длины. В случае, если длина входного блока меньше, чем размер, который шифруется заданным алгоритмом, то блок удлиняется каким-либо способом. Как правило длина блока является степенью двойки, например: 64 бита, 128 бит. Далее будем рассматривать операции происходящие только с одним блоком, так как с другими в процессе шифрования выполняются те же самые операции.
- Выбранный блок делится на два равных подблока — «левый» (L_0) и «правый» (R_0).

- «Левый блок» L_0 видоизменяется функцией $f(L_0, K_1)$ в зависимости от ключа K_1, после чего он складывается по модулю 2 с «правым блоком» R_0.
- Результат сложения присваивается новому левому подблоку L_1, который будет половиной входных данных для следующего раунда, а «левый блок» L_0 присваивается без изменений новому правому подблоку R_1 (см. схему), который будет другой половиной.
- После чего операция повторяется N-1 раз, при этом при переходе от i-го к i+1-му этапу могут меняться ключи(K_i на K_{i+1}) по какому-либо правилу, где N — количество раундов в заданном алгоритме. [8]

Расшифрование

Расшифровка информации происходит так же, как и шифрование, с тем лишь исключением, что ключи идут в обратном порядке, т.е не от первого к N-ному, а от N-го к первому.



Шифрование Дешифрование

Рис.1. Схема работы сети Фейстеля

Алгоритмическое описание

- блок открытого текста делится на 2 равные части (L_0,R_0)
- в каждом раунде вычисляется ($i = 1 \ldots n$ — номер раунда)

$$L_i=R_{i-1} \oplus f(L_{i-1},K_{i-1});\ R_i = L_{i-1},$$

где f— некоторая функция, а K_{i-1} — ключ i-го раунда. Результатом выполнения n раундов является (L_n,R_n). Но обычно в n-ом раунде перестановка L_n и R_n не производится, что позволяет использовать ту же процедуру и для расшифрования, просто инвертировав порядок использования раундовой ключевой информации:

$$L_{i-1}=R_{i-1} \oplus f(L_i,K_{i-1});\ R_{i-1} = L_i.$$

Небольшим изменением можно добиться и полной идентичности процедур шифрования и дешифрования. Одно из преимуществ такой модели — обратимость алгоритма независимо от используемой функции f, и она может быть сколь угодно сложной. [7]

Пример реализации на языке C

Общий вид алгоритма шифрования, использующего сеть Фейстеля:

```
/* функция преобразования подблока по ключу(зависит от конкретного алгоритма)
subblock - преобразуемый подблок
key - ключ
возвращаяемое значение - преобразованный блок*/
int f(int subblock, int key);

/*Шифрование открытого текста
left - левый входной подблок
right - правый входной подблок
* key - массив ключей (по ключу на раунд)
rounds - количество раундов*/
void crypt(int *left, int *right, int rounds, int *key)
{
   int i, temp;
   for(i = 0; i < rounds; i++)
```

```
  {
        temp = *right ^ f(*left, key[i]);
        *right = *left;
        *left = temp;
  }
}

/*Расшифрование текста
left - левый зашифрованный подблок
right - правый зашифрованный подблок*/
void decrypt(int *left, int *right, int rounds, int *key)
{
  int i, temp;
  for(i = rounds - 1; i >= 0; i--)
  {
        temp = *left ^ f(*right, key[i]);
        *left = *right;
        *right = temp;
  }
}
```

3.3. Выполнение работы

Реализовать приложение для шифрования на основе сетей Фейстеля, позволяющее выполнять следующие действия:

1) шифруемый текст должен храниться в одном файле, а ключ шифрования – в другом;

2) приложение должно позволять выбирать вид образующей функции:

а) функция – единичная, т.е. ($f(v_i)=v_i$) ;

б) функция имеет вид $f(v_i,x)=v_i \oplus x$

3)зашифрованный текст должен сохраняться в файл;

4)расшифрованный текст должен сохраняться в файл.

Отчётные материалы

Преподавателю демонстрируется работающая программа и предоставляется печатный отчёт. Отчёт содержит код программы и результаты работы программы.

Контрольные вопросы

1. Какие образующие функции можно использовать в сети Фейстеля?
2. Как происходит процесс шифрования?
3. Как происходит процесс дешифрования?
4. Как определяется величина блока разбиения ?
5. Какое свойство функции XOR позволяет производить шифрование/дешифрование?

4. Лабораторная работа №4 Алгоритм DES

4.1. Цель работы

Исследование особенностей алгоритма DES и его программная реализация.

4.2. Краткие теоретические сведения

Основные достоинства алгоритма DES**:**

- используется только один ключ длиной 56 битов;
- зашифровав сообщение с помощью одного пакета, для расшифровки вы можете использовать любой другой;
- относительная простота алгоритма обеспечивает высокую скорость обработки информации;
- достаточно высокая стойкость алгоритма.

DES осуществляет шифрование 64-битовых блоков данных с помощью 56-битового ключа. Расшифрование в DES является операцией обратной шифрованию и выполняется путем повторения операций шифрования в обратной последовательности (несмотря на кажущуюся очевидность, так делается далеко не всегда. Позже мы рассмотрим шифры, в которых шифрование и расшифрование осуществляются по разным алгоритмам).

Процесс шифрования заключается в начальной перестановке битов 64-битового блока, шестнадцати циклах шифрования и, наконец, обратной перестановки битов (рис.2).

Рис.2. Обобщенная схема шифрования в алгоритме DES

Необходимо сразу же отметить, что ВСЕ таблицы являются СТАНДАРТНЫМИ, а следовательно должны включаться в вашу реализацию алгоритма в неизменном виде. Все перестановки и коды в таблицах подобраны разработчиками таким образом, чтобы максимально затруднить процесс расшифровки путем подбора ключа. Структура алгоритма DES приведена на рис.3.

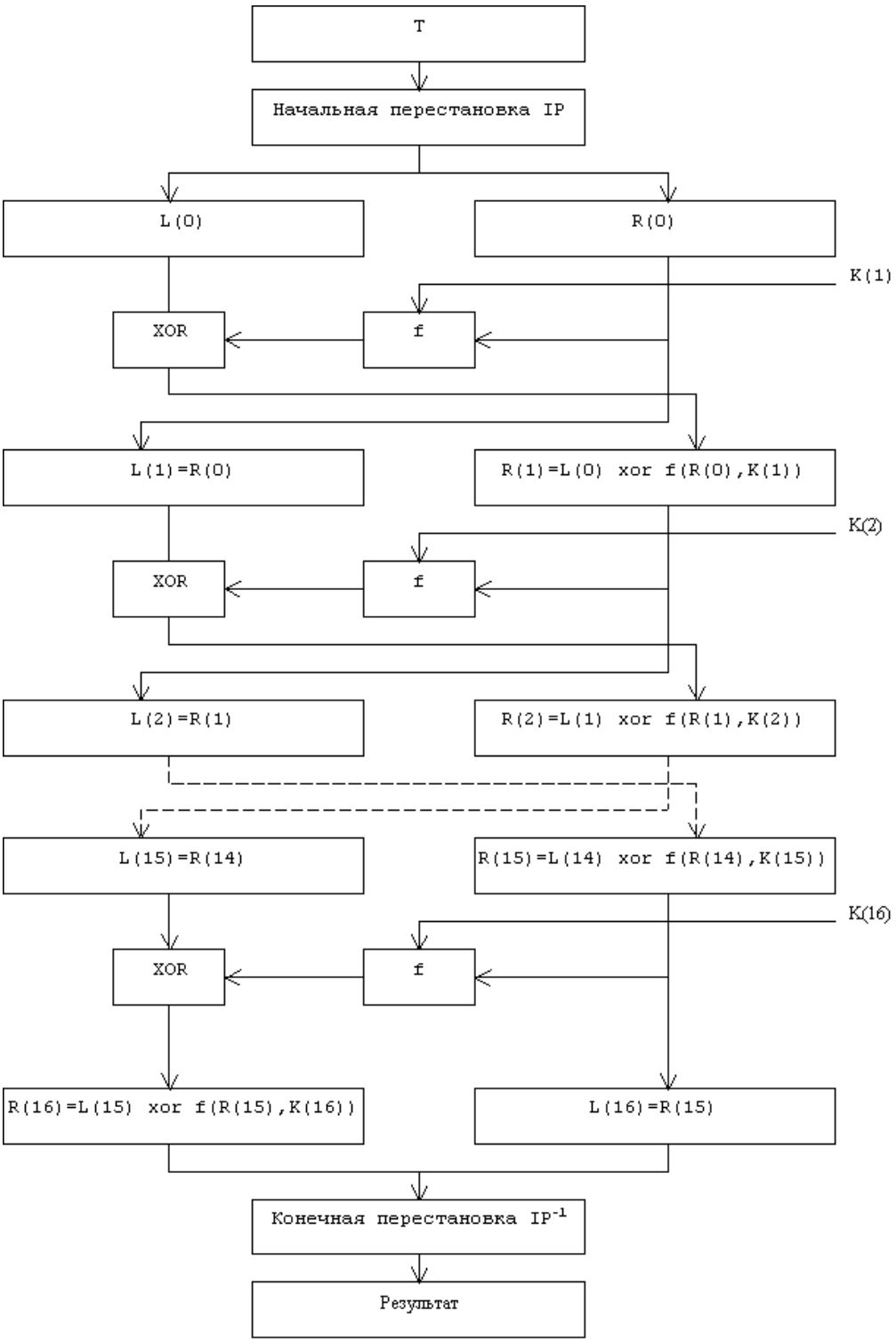


Рис.3. Структура алгоритма шифрования DES

Пусть из файла считан очередной 8-байтовый блок T, который преобразуется с помощью матрицы начальной перестановки IP (табл.1) следующим образом: бит 58 блока T становится битом 1, бит 50 - битом 2 и т.д., что даст в результате: T(0) = IP(T).

Полученная последовательность битов T(0) разделяется на две последовательности по 32 бита каждая: L(0) - левые или старшие биты, R(0) - правые или младшие биты.

Таблица 2. ***Матрица начальной перестановки IP***

58	50	42	34	26	18	10	02
60	52	44	36	28	20	12	04
62	54	46	38	30	22	14	06
64	56	48	40	32	24	16	08
57	49	41	33	25	17	09	01
59	51	43	35	27	19	11	03
61	53	45	37	29	21	13	05
63	55	47	39	31	23	15	07

Затем выполняется шифрование, состоящее из 16 итераций. Результат i-й итерации описывается следующими формулами:

$$L(i) = R(i-1)$$
$$R(i) = L(i-1) \text{ xor } f(R(i-1), K(i)) ,$$

где xor - операция ИСКЛЮЧАЮЩЕЕ ИЛИ.

Функция f называется функцией шифрования. Ее аргументы - это 32-битовая последовательность R(i-1), полученная на (i-1)-ой итерации, и 48-битовый ключ K(i), который является результатом преобразования 64-битового ключа K. Подробно функция шифрования и алгоритм получения ключей K(i) описаны ниже.

На 16-й итерации получают последовательности R(16) и L(16) (без перестановки), которые конкатенируют в 64-битовую последовательность R(16)L(16).

Затем позиции битов этой последовательности переставляют в соответствии с матрицей IP^{-1} (табл.3).

Таблица 3. ***Матрица обратной перестановки IP^{-1}***

40	08	48	16	56	24	64	32
39	07	47	15	55	23	63	31
38	06	46	14	54	22	62	30
37	05	45	13	53	21	61	29

```
36  04  44  12  52  20  60  28
35  03  43  11  51  19  59  27
34  02  42  10  50  18  58  26
33  01  41  09  49  17  57  25
```

Матрицы IP^{-1} и IP соотносятся следующим образом: значение 1-го элемента матрицы IP^{-1} равно 40, а значение 40-го элемента матрицы IP равно 1, значение 2-го элемента матрицы IP^{-1} равно 8, а значение 8-го элемента матрицы IP равно 2 и т.д.

Процесс расшифрования данных является инверсным по отношению к процессу шифрования. Все действия должны быть выполнены в обратном порядке. Это означает, что расшифровываемые данные сначала переставляются в соответствии с матрицей IP^{-1}, а затем над последовательностью бит R(16)L(16) выполняются те же действия, что и в процессе шифрования, но в обратном порядке.

Итеративный процесс расшифрования может быть описан следующими формулами:

$$R(i-1) = L(i),\ i = 1, 2, ..., 16;$$

$$L(i-1) = R(i) \text{ xor } f(L(i), K(i)),\ i = 1, 2, ..., 16\ .$$

На 16-й итерации получают последовательности L(0) и R(0), которые конкатенируют в 64-битовую последовательность L(0)R(0).

Затем позиции битов этой последовательности переставляют в соответствии с матрицей IP. Результат такой перестановки - исходная 64-битовая последовательность.

Теперь рассмотрим функцию шифрования f(R(i-1),K(i)). Схематически она показана на рис. 4.

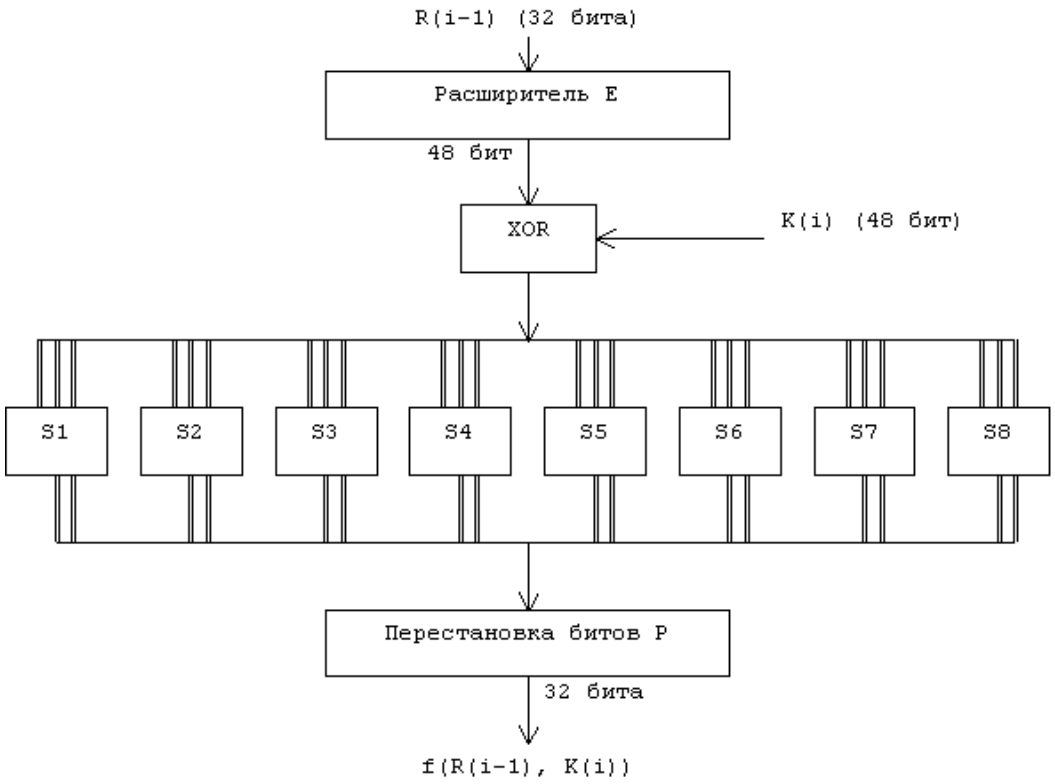


Рис.4. Вычисление функции f(R(i-1), K(i))

Для вычисления значения функции f используются следующие функции-матрицы:

- E - расширение 32-битовой последовательности до 48-битовой,
- S1, S2, ... , S8 - преобразование 6-битового блока в 4-битовый,
- P - перестановка бит в 32-битовой последовательности.[3]

Функция расширения E определяется табл.3. В соответствии с этой таблицей первые 3 бита E(R(i-1)) - это биты 32, 1 и 2, а последние - 31, 32 и 1.

Таблица 4. ***Функция расширения E***

32	01	02	03	04	05
04	05	06	07	08	09
08	09	10	11	12	13
12	13	14	15	16	17
16	17	18	19	20	21
20	21	22	23	24	25
24	25	26	27	28	29
28	29	30	31	32	01

Результат функции E(R(i-1)) есть 48-битовая последовательность, которая складывается по модулю 2 (операция xor) с 48-битовым ключом K(i).

Получается 48-битовая последовательность, которая разбивается на восемь 6-битовых блоков B(1)B(2)B(3)B(4)B(5)B(6)B(7)B(8). То есть:

E(R(i-1)) xor K(i) = B(1)B(2)...B (8) .

Функции S1, S2, ... , S8 определяются табл.5.

Таблица 5. Функции преобразования S1, S2, ..., S8

		Номер столбца															
		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	
Номер строки	0	14	4	13	1	2	15	11	8	3	10	6	12	5	9	0	7	S1
	1	0	15	7	4	14	2	13	1	10	6	12	11	9	5	3	8	
	2	4	1	14	8	13	6	2	11	15	12	9	7	3	10	5	0	
	3	15	12	8	2	4	9	1	7	5	11	3	14	10	0	6	13	
	0	15	1	8	14	6	11	3	4	9	7	2	13	12	0	5	10	S2
	1	3	13	4	7	15	2	8	14	12	0	1	10	6	9	11	5	
	2	0	14	7	11	10	4	13	1	5	8	12	6	9	3	2	15	
	3	13	8	10	1	3	15	4	2	11	6	7	12	0	5	14	9	
	0	10	0	9	14	6	3	15	5	1	13	12	7	11	4	2	8	S3
	1	13	7	0	9	3	4	6	10	2	8	5	14	12	11	15	1	
	2	13	6	4	9	8	15	3	0	11	1	2	12	5	10	14	7	
	3	1	10	13	0	6	9	8	7	4	15	14	3	11	5	2	12	
	0	7	13	14	3	0	6	9	10	1	2	8	5	11	12	4	15	S4
	1	13	8	11	5	6	15	0	3	4	7	2	12	1	10	14	9	
	2	10	6	9	0	12	11	7	13	15	1	3	14	5	2	8	4	
	3	3	15	0	6	10	1	13	8	9	4	5	11	12	7	2	14	
	0	2	12	4	1	7	10	11	6	8	5	3	15	13	0	14	9	S5
	1	14	11	2	12	4	7	13	1	5	0	15	10	3	9	8	6	
	2	4	2	1	11	10	13	7	8	15	9	12	5	6	3	0	14	
	3	11	8	12	7	1	14	2	13	6	15	0	9	10	4	5	3	
	0	12	1	10	15	9	2	6	8	0	13	3	4	14	7	5	11	S6
	1	10	15	4	2	7	12	9	5	6	1	13	14	0	11	3	8	
	2	9	14	15	5	2	8	12	3	7	0	4	10	1	13	11	6	
	3	4	3	2	12	9	5	15	10	11	14	1	7	6	0	8	13	
	0	4	11	2	14	15	0	8	13	3	12	9	7	5	10	6	1	S7
	1	13	0	11	7	4	9	1	10	14	3	5	12	2	15	8	6	
	2	1	4	11	13	12	3	7	14	10	15	6	8	0	5	9	2	
	3	6	11	13	8	1	4	10	7	9	5	0	15	14	2	3	12	
	0	13	2	8	4	6	15	11	1	10	9	3	14	5	0	12	7	S8
	1	1	15	13	8	10	3	7	4	12	5	6	11	0	14	9	2	
	2	7	11	4	1	9	12	14	2	0	6	10	13	15	3	5	8	
	3	2	1	14	7	4	10	8	13	15	12	9	0	3	5	6	11	

К табл.5. требуются дополнительные пояснения. Пусть на вход функции-матрицы Sj поступает 6-битовый блок B(j) = b1b2b3b4b5b6, тогда двухбитовое число b1b6 указывает номер строки матрицы, а b2b3b4b5 -

номер столбца. Результатом Sj(B(j)) будет 4-битовый элемент, расположенный на пересечении указанных строки и столбца.

Например, B(1)=011011. Тогда S1(B(1)) расположен на пересечении строки 1 и столбца 13. В столбце 13 строки 1 задано значение 5. Значит, S1(011011)=0101.

Применив операцию выбора к каждому из 6-битовых блоков B(1), B(2), ..., B(8), получаем 32-битовую последовательность S1(B(1))S2(B(2))S3(B(3))...S8(B(8)). [9]

Наконец, для получения результата функции шифрования надо переставить биты этой последовательности. Для этого применяется функция перестановки P (табл.5). Во входной последовательности биты перестанавливаются так, чтобы бит 16 стал битом 1, а бит 7 - битом 2 и т.д.

Таблица 6. ***Функция перестановки P***

16	07	20	21
29	12	28	17
01	15	23	26
05	18	31	10
02	08	24	14
32	27	03	09
19	13	30	06
22	11	04	25

Таким образом,

$$f(R(i-1), K(i)) = P(S1(B(1)),...S8(B(8)))$$

Чтобы завершить описание алгоритма шифрования данных, осталось привести алгоритм получения 48-битовых ключей K(i), i=1...16. На каждой итерации используется новое значение ключа K(i), которое вычисляется из начального ключа K. K представляет собой 64-битовый блок с восемью битами контроля по четности, расположенными в позициях 8,16,24,32,40,48,56,64.

Для удаления контрольных битов и перестановки остальных используется функция G первоначальной подготовки ключа (табл.7).

Таблица 7. Матрица G первоначальной подготовки ключа

57	49	41	33	25	17	09
01	58	50	42	34	26	18
10	02	59	51	43	35	27
19	11	03	60	52	44	36
63	55	47	39	31	23	15
07	62	54	46	38	30	22
14	06	61	53	45	37	29
21	13	05	28	20	12	04

Результат преобразования G(K) разбивается на два 28-битовых блока C(0) и D(0), причем C(0) будет состоять из битов 57, 49, ..., 44, 36 ключа K, а D(0) будет состоять из битов 63, 55, ..., 12, 4 ключа K. После определения C(0) и D(0) рекурсивно определяются C(i) и D(i), i=1...16. Для этого применяют циклический сдвиг влево на один или два бита в зависимости от номера итерации, как показано в табл.8.

Таблица 8. Таблица сдвигов для вычисления ключа

Номер итерации	Сдвиг (бит)
01	1
02	1
03	2
04	2
05	2
06	2
07	2
08	2
09	1
10	2
11	2
12	2
13	2
14	2
15	2
16	1

Полученное значение вновь "перемешивается" в соответствии с матрицей H (табл.9).

Таблица 9. ***Матрица H завершающей обработки ключа***

```
14  17  11  24  01  05
03  28  15  06  21  10
23  19  12  04  26  08
16  07  27  20  13  02
41  52  31  37  47  55
30  40  51  45  33  48
44  49  39  56  34  53
46  42  50  36  29  32
```

Ключ K(i) будет состоять из битов 14, 17, ..., 29, 32 последовательности C(i)D(i). Таким образом:

K(i) = H(C(i)D(i))

Блок-схема алгоритма вычисления ключа приведена на рис.5.

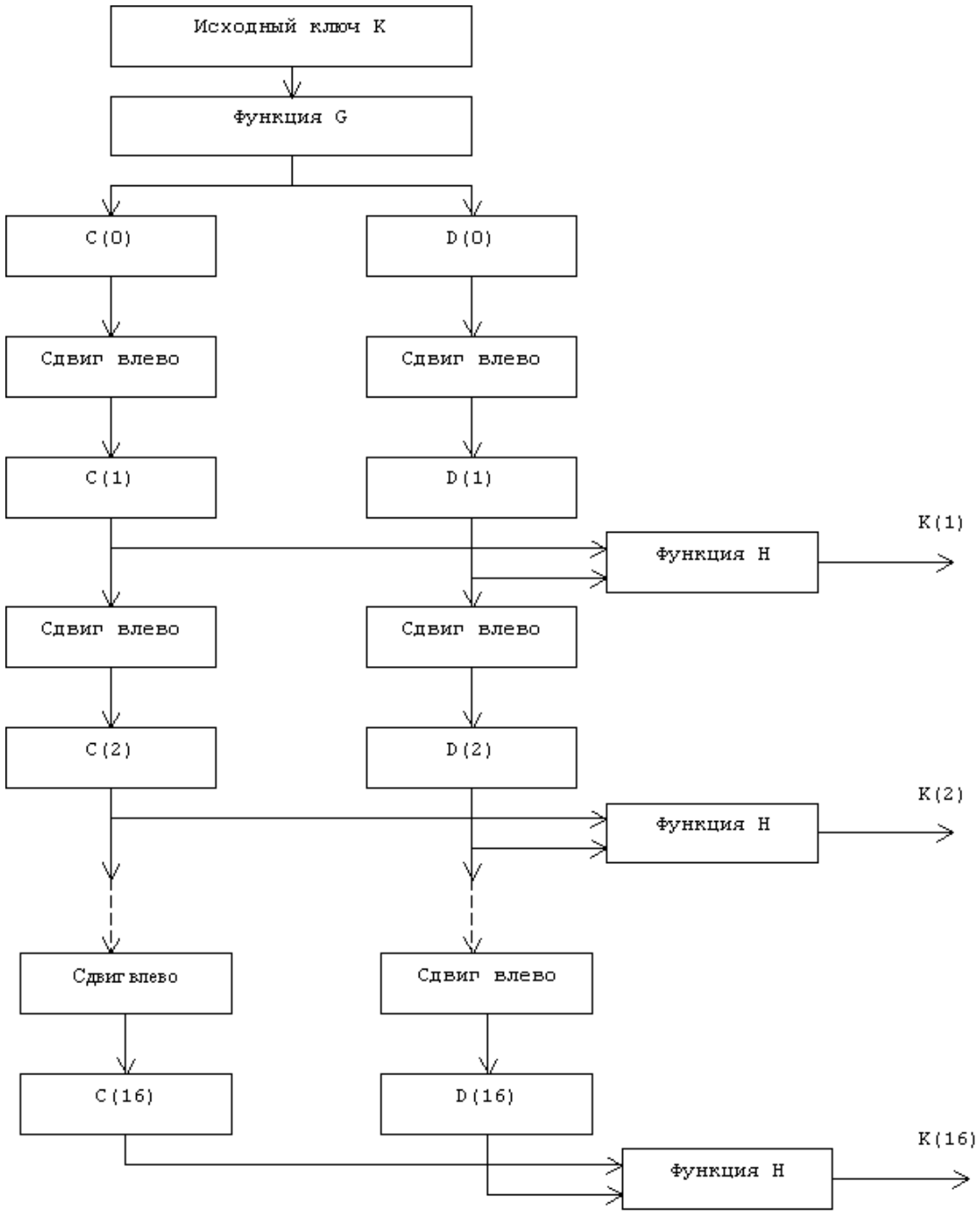


Рис.5. Блок-схема алгоритма вычисления ключа K(i)

Восстановление исходного текста осуществляется по этому алгоритму, но вначале вы используете ключ K(15), затем - K(14) и так далее. [9]

Алгоритм DES. Программная реализация

Объявим ряд переменных, требующихся для программы:

private const int sizeOfBlock = 128; //в DES размер блока 64 бит, но поскольку в unicode символ в два раза длинее, то увеличим блок тоже в два раза

```
private const int sizeOfChar = 16; //размер одного символа (in Unicode 16 bit)

private const int shiftKey = 2; //сдвиг ключа

private const int quantityOfRounds = 16; //количество раундов

string[] Blocks; //сами блоки в двоичном формате.
```

Напишем методы, реализующие необходимый функционал для программы DES:

Метод, доводящий строку до такого размера, чтобы она делилась на sizeOfBlock. Размер увеличивается с помощью добавления к исходной строке символа “#”.

```
private string StringToRightLength(string input)

{ while (((input.Length * sizeOfChar) % sizeOfBlock) != 0)

      input += "#";

   return input;  }
```

Метод, разбивающий строку в обычном (символьном) формате на блоки.

```
private void CutStringIntoBlocks(string input)

{

   Blocks = new string[(input.Length * sizeOfChar) / sizeOfBlock];

   int lengthOfBlock = input.Length / Blocks.Length;

   for (int i = 0; i < Blocks.Length; i++)

   {

      Blocks[i] = input.Substring(i * lengthOfBlock, lengthOfBlock);

       Blocks[i] = StringToBinaryFormat(Blocks[i]);

   }

}
```

Метод, разбивающий строку в двоичном формате на блоки.

```
private void CutBinaryStringIntoBlocks(string input)
```

```
{
    Blocks = new string[input.Length / sizeOfBlock];
    int lengthOfBlock = input.Length / Blocks.Length;
    for (int i = 0; i < Blocks.Length; i++)
        Blocks[i] = input.Substring(i * lengthOfBlock, lengthOfBlock);
}
```

Метод, доводящий длину ключа до нужной длины.

```
private string CorrectKeyWord(string input, int lengthKey)
{
    if (input.Length > lengthKey)
        input = input.Substring(0, lengthKey);
    else
        while (input.Length < lengthKey)
            input = "0" + input;
    return input;
}
```

Один раунд шифрования алгоритмом DES.

```
private string EncodeDES_One_Round(string input, string key)
{
    string L = input.Substring(0, input.Length / 2);
    string R = input.Substring(input.Length / 2, input.Length / 2);

    return (R + XOR(L, f(R, key)));
}
```

Один раунд расшифровки алгоритмом DES.

```
private string DecodeDES_One_Round(string input, string key)
```

```
{
   string L = input.Substring(0, input.Length / 2);
   string R = input.Substring(input.Length / 2, input.Length / 2);
   return (XOR(f(L, key), R) + L);
}
```

XOR двух строк с двоичными данными.

```
private string XOR(string s1, string s2)
{
   string result = "";
   for (int i = 0; i < s1.Length; i++)
   {
      bool a = Convert.ToBoolean(Convert.ToInt32(s1[i].ToString()));
      bool b = Convert.ToBoolean(Convert.ToInt32(s2[i].ToString()));
      if (a ^ b)
         result += "1";
      else
         result += "0";
   }
   return result;
}
```

Шифрующая функция f. Мы решили использовать в качестве нее также логическую операцию XOR.

```
private string f(string s1, string s2)
{ return XOR(s1, s2);  }
```

Вычисление ключа для следующего раунда шифрования DES. Циклический сдвиг >> shiftKey.

```
private string KeyToNextRound(string key)
{
   for (int i = 0; i < shiftKey; i++)
   {
      key = key[key.Length - 1] + key;      key = key.Remove(key.Length - 1);
   }
   return key;
}
```

Вычисление ключа для следующего раунда расшифровки DES. циклический сдвиг << shiftKey.

```
private string KeyToPrevRound(string key)
{
   for (int i = 0; i < shiftKey; i++)
   { key = key + key[0];  key = key.Remove(0, 1);}
   return key;
}
```

Метод, переводящий строку с двоичными данными в символьный формат.

```
private string StringFromBinaryToNormalFormat(string input)
{string output = "";
   while (input.Length > 0)
   {
      string char_binary = input.Substring(0, sizeOfChar);  input = input.Remove(0, sizeOfChar);
      int a = 0; int degree = char_binary.Length - 1;
           foreach (char c in char_binary)
        a += Convert.ToInt32(c.ToString()) * (int)Math.Pow(2, degree--);
      output += ((char)a).ToString();
```

```
    }
    return output;
}
```

4.3. Выполнение работы

Реализовать приложение для шифрования на основе алгоритма DES, позволяющее выполнять следующие действия:

1) шифруемый текст должен храниться в одном файле, а ключ шифрования – в другом;

2)зашифрованный текст должен сохраняться в файл;

3)расшифрованный текст должен сохраняться в файл.

Отчётные материалы

Преподавателю предоставляется работающая программа и отчёт. Отчёт содержит постановку задачи, код программы и несколько результатов работы программы. Студент должен объяснить принцип работы алгоритма при защите лабораторной работы.

Контрольные вопросы

1. Какова величина блока открытого текста и ключа в алгоритме DES?
2. Каковы основные шаги алгоритма DES?
3. Как осуществляется процесс дешифрования?
4. Как вычисляется ключ?
5. Какие стандартные таблицы используются в процессе шифрования?

5. Лабораторная работа №5. Алгоритм RC4

5.1.Цель работы

Реализовать простейший потоковый шифр с симметричным ключом на основе алгоритма RC4.

5.2. Краткие теоретические сведения

Алгоритм шифрования **RC4** — широко используемый потоковый шифр, который применяется в таких популярных протоколах, как **TLS** (для защиты Интернет-трафика) и **WEP** (для защиты WLAN-сетей).

Ядро алгоритма поточных шифров состоит из функции — генератора псевдо случайных битов (гаммы), который выдаёт поток битов ключа (ключевой поток, гамму, последовательность псевдо случайных битов). [2]

Алгоритм шифрования.

1. Функция генерирует последовательность битов (k_i).
2. Затем последовательность битов посредством операции «суммирование по модулю два» (xor) объединяется с открытым текстом (m_i). В результате получается шифрограмма (c_i): $c_i = m_i \oplus k_i$.

Алгоритм расшифровки.

1. Повторно создаётся (регенерируется) поток битов ключа (ключевой поток) (k_i).
2. Поток битов ключа складывается с шифрограммой (c_i) операцией «xor». В силу свойств операции «xor» на выходе получается исходный (не зашифрованный) текст (m_i): $m_i = c_i \oplus k_i$.

RC4 генерирует псевдослучайный поток битов, который называют гаммой или гаммирующей последовательностью (по англ. **keystream**). Как и в любом другом потоковом шифре, шифрование в **RC4** осуществляется с помощью операции **XOR** над гаммой и открытым текстом. Расшифровка происходит с помощью операции **XOR** над гаммой и шифротекстом. Таким образом, самым принципиальным моментом в **RC4** является то, каким образом генерируется гамма.

В самую первую очередь пользователь создаёт секретный ключ, длина которого, обычно, находится в пределах от 5 до 32 байт. Затем происходит процесс под названием **инициализация S-блока** (**Key-scheduling algorithm**). Сначала берётся массив из 256 байтов (S-блок) и последовательно заполняется целыми числами от 0 до 255. Потом происходит перемешивание этого массива. Причем перемешивание зависит только от ключа в том смысле, что результат перемешивания всегда жёстко детерминирован после выбора ключа.[8]

Пусть key — массив байтов ключа, keylength — длина ключа в байтах, mod — операция нахождения остатка от деления, swap — функция перестановки. Тогда процесс инициализации S-блока можно описать алгоритмом:

```
for i from 0 to 255
  S[i] := i
endfor
j := 0
for i from 0 to 255
  j := (j + S[i] + key[i mod keylength]) mod 256
  swap(S[i], S[j]) // поменять местами S[i] и S[j]
endfor
```

Мы видим, что 256 раз кряду происходит довольно тривиальная перестановка байтов внутри массива S.

Следующий этап носит название **генерации псевдослучайной последовательности** (**Pseudo-random generation algorithm**). Это

итеративный процесс, который генерирует псевдослучаный поток байтов, играющий роль гаммирующей последовательности. Каждый байт гаммы жестко зависит от S-блока. Впоследствии, как уже упоминалось, байты гаммирующей последовательности будут складываться с помощью операции **XOR** с байтами открытого текста. Это и есть шифрование **RC4.**

Пусть K — это байт гаммы, output — операция вывода. В самом начале i и j обнуляются. Один шаг цикла, в результате которого генерируется байт гаммы, можно описать алгоритмом:

```
i := (i + 1) mod 256
j := (j + S[i]) mod 256
swap(S[i], S[j])// поменять местами S[i] и S[j]
K = S[(S[i] + S[j]) mod 256]
output K
```

В одном цикле RC4 определяется одно *n*-битное слово K из ключевого потока. В дальнейшем ключевое слово будет сложено по модулю два с исходным текстом, которое пользователь хочет зашифровать, и получен зашифрованный текст.

Зациклив этот участок кода, можно сгенерировать столько байтов гаммирующей последовательности, сколько требуется для решения задачи шифрования или расшифровки.

Пример реализации алгоритма на C#.

Создадим класс «RC4» и объявим следующие члены:

```
byte[] S = new byte[256];
int x = 0;  int y = 0;
```

Для генерации ключевого потока шифр использует скрытое внутреннее состояние, состоящее из двух частей:

1.Перестановки, содержащей все возможные байты от 0x00 до 0xFF (массив S). 2.Переменных-счетчиков x и y.

Для начальной инициализация вектора-перестановки ключём, используется алгоритм ключевого расписания (Key-Scheduling Algorithm):

```
private void init(byte[] key) {
int keyLength = key.Length;
for (int i = 0; i < 256; i++)
{   S[i] = (byte)i;  }
int j = 0;
for (int i = 0; i < 256; i++)
{  j = (j + S[i] + key[i % keyLength]) % 256;
S.Swap(i, j);  }
}
```

Используемый метод Swap (поменять два элемента массива местами) расширяет стандартный список методов класса Array:

```
static class SwapExt { public static void Swap(this T[] array, int index1, int index2) { T temp =
array[index1]; array[index1] = array[index2]; array[index2] = temp; } }
```

Метод init нужно вызвать перед шифровкой/расшифровкой, когда известен ключ. Можно сделать это в конструкторе:

```
public RC4(byte[] key) { init(key); }
```

Дальше нужно реализовать генератор псевдослучайной последовательности (Pseudo-Random Generation Algorithm). При каждом вызове метод будет выплевывать последующий байт ключевого потока, который мы и будем объединять xor'ом с байтом исходных данных.

```
private byte keyItem()
{
x = (x + 1) % 256;
y = (y + S[x]) % 256;
S.Swap(x, y);
return S[(S[x] + S[y]) % 256];
}
```

Для каждого байта массива/потока входных незашифрованных данных запрашиваем байт ключа и объединяем их при помощи xor (^):

```
public byte[] Encode(byte[] dataB, int size)

{

byte[] data = dataB.Take(size).ToArray();

byte[] cipher = new byte[data.Length];

 for (int m = 0; m < data.Length; m++)

{ cipher[m] = (byte)(data[m] ^ keyItem()); }

 return cipher;

}
```

Для расшифровки можно использовать этот же метод. Завернем его в отдельный метод для наглядности:

```
public byte[] Decode(byte[] dataB, int size)
{
 return Encode(dataB, size);
}
```

Пример, как можно использовать этот класс:

```
byte[] key = ASCIIEncoding.ASCII.GetBytes("Key");
RC4 encoder = new RC4(key);
string testString = "Plaintext";
byte[] testBytes = ASCIIEncoding.ASCII.GetBytes(testString);
byte[] result = encoder.Encode(testBytes, testBytes.Length);
RC4 decoder = new RC4(key);
byte[] decryptedBytes = decoder.Decode(result, result.Length);
string decryptedString = ASCIIEncoding.ASCII.GetString(decryptedBytes);
```

Результат, работы программы:

key	{byte[0x00000003]}
encoder	{RC4_Testing.RC4}
testString	"Plaintext"
testBytes	{byte[0x00000009]}
result	{byte[0x00000009]}
decoder	{RC4_Testing.RC4}
decryptedBytes	{byte[0x00000009]}
decryptedString	"Plaintext"

Рис. 6. Результаты работы программы

5.3. Выполнение работы

Для выполнения работы необходимо:

1. В собственном рабочем пространстве создать проект с именем Lab03.
2. В коде реализовать отдельный модуль (rc4.h, rc4.cpp), содержащий класс для алгоритма RC4 (назвать класс - RC4). Класс должен предусматривать минимум два метода - конструктор, которому передаётся строка байтов ключа и метод получения следующего

случайного значения - GetNext(). Класс должен "уметь" поддерживать состояние S-блока межу вызовами.

3. Реализовать консольное приложение Win32, которое требует передачи трёх параметров - входной файл, выходной файл и файл, содержащий строку ключа. Запуск приложения должен осуществляться из командной строки, например: "C:\lab03.exe infile.txt outfile.txt keyfile.txt". Для передачи параметров используются параметры argc и argv функции main() программы. Преобразование шифрования/дешифрования - побитовое XOR для потоков сообщения и случайных байтов.
4. Выполнить шифрование и дешифрование текстового файла с одним и различными ключами.

Примечание: Т.к. в нашем случае для шифрования используется побитовое XOR между потоком сообщения и потоком случайных байтов, то шифрование и дешифрование выполняются полностью идентично.

Отчётные материалы

Преподавателю демонстрируется работающая программа и предоставляется печатный отчёт. Отчёт содержит оформленный согласно требованиям код программы и несколько результатов работы программы. Студент должен объяснить принцип работы алгоритма при защите лабораторной работы.

Контрольные вопросы

1. Из каких шагов состоит алгоритм шифрования RC4?
2. Как произвести дешифрование по алгоритму RC4?
3. Что из себя представляет гамма?
4. Какими свойствами обладает потоковый шифр?

6. Лабораторная работа №6 Ассиметричные алгоритмы шифрования данных: алгоритм RSA

6.1. Цель работы

Изучить принцип работы асимметричных алгоритмов шифрования на примере алгоритма RSA.

6.2. Краткие теоретические сведения

RSA (аббревиатура от фамилий создателей: Rivest, Shamir и Adleman) – один из самых популярных алгоритмов шифрования. Сначала приведем несколько определений:

mod – операция взятия остатка от деления,

под простым числом будем понимать такое число, которое делится только на 1 и на само себя

взаимно простыми называются такие числа, которые не имеют между собой ни одного общего делителя, кроме единицы.[10]

Алгоритм RSA включает в себя следующие шаги:

Генерация ключей

1.1. Выбрать два больших простых числа p и q; вычисляется их произведение n = p • q, называемое модулем.

1.2. Вычисляется функция Эйлера Ф(n) = m=(p – 1) · (q – 1)

1.3. Выбирается произвольное число e (e < n), такое, что 1 < e < m и не имеет общих делителей, кроме 1 (взаимно простое) с числом (p – 1) · (q – 1).

1.4. Вычисляется d методом Евклида таким образом, что (e • d – 1) делится на (p – 1) • (q – 1).

1.5. Два числа (*e, n*) публикуются как открытый ключ.

1.6. Числа (*d,n)* хранятся в секрете как закрытый ключ.

Открытым ключом зашифровывают сообщение, а закрытым – расшифровывают.

2. Шифрование

Шифрование с помощью пары чисел производится следующим образом:

2.1. Отправитель разбивает своё сообщение M на блоки m_i. Значение $m_i < n$, поэтому длина блока m_i в битах не больше $k = [\log_2(n)]$ бит, где квадратные скобки обозначают, взятие целой части от дробного числа.

Например, если $n = 21$, то максимальная длина блока $k = [\log_2(21)] = [4.39\ldots] = = 4$ бита.

Обычно блок берут равным одному символу и представляют этот символ в виду числа – его номера в алфавите или кода в таблице символов (например ASCII или Unicode).

2.1. Для каждого такого числа m_i вычисляется выражение (c_i – зашифрованное сообщение): $c_i = ((m_i)^e) \bmod n$.

Дешифрование

Чтобы получить открытый текст, необходимо каждый блок дешифровать отдельно: $m_i = ((c_i)^d) \bmod n$. [9]

Пример:

Выбрать два простых числа:

$p = 7$, $q = 17$.
Вычислить $n = p \cdot q = 7 \cdot 17 = 119$.
Вычислить $\Phi(n) = (p - 1) \cdot (q - 1) = 96$.

Выбрать e так, чтобы e было взаимнопростым с $\Phi(n) = 96$ и меньше, чем $\Phi(n)$: $e = 5$.

Определить d так, чтобы $d \cdot e \equiv 1 \bmod 96$ и $d < 96$, $d = 77$, так как

$77 \cdot 5 = 385 = 4 \cdot 96 + 1$.

Результирующие ключи открытый $\{5, 119\}$ и закрытый ключ $\{77, 119\}$.

Например, требуется зашифровать сообщение $M = 19$: $19^5 = 66 \pmod{119}$,

$C = = 66$. Для дешифрования вычисляется $66^{77} \pmod{119} = 19$.

Программная реализация

В программе будем использовать следующий алфавит

```
char[] characters = new char[] { '#', 'А', 'Б', 'В', 'Г', 'Д', 'Е', 'Ё', 'Ж', 'З', 'И',
                                 'Й', 'К', 'Л', 'М', 'Н', 'О', 'П', 'Р', 'С',
                                 'Т', 'У', 'Ф', 'Х', 'Ц', 'Ч', 'Ш', 'Щ', 'Ь', 'Ы', 'Ъ',
                                 'Э', 'Ю', 'Я', ' ', '1', '2', '3', '4', '5', '6', '7',
                                 '8', '9', '0' };
```

Число M(i) для конкретной буквы будет равно её номеру в массиве characters[].

Проверка: является ли число простым:

```
private bool IsTheNumberSimple(long n)
{
   if (n < 2)
      return false;
   if (n == 2)
      return true;
   for (long i = 2; i < n; i++)
      if (n % i == 0)
         return false;
   return true;
}
```

Метод, выполняющий шифрование строки алгоритмом RSA:

```
private List<string> RSA_Endoce(string s, long e, long n)
{
   List<string> result = new List<string>();
   BigInteger bi;
   for (int i = 0; i < s.Length; i++)
   {
      int index = Array.IndexOf(characters, s[i]);
      bi = new BigInteger(index);
      bi = BigInteger.Pow(bi, (int)e);
      BigInteger n_ = new BigInteger((int)n);
      bi = bi % n_;
     result.Add(bi.ToString());
   }
   return result;
}
```

При возведении числа в степень в данном случае получаются очень большие числа, которые не помещаются ни в один из стандартных типов. Поэтому для их хранения используется экземпляр класса BigInteger. Этот класс позволяет хранить целые числа произвольной (любой) длины и выполнять математические операции с ними.

Метод, выполняющий расшифровку строки алгоритмом RSA:

```
private string RSA_Dedoce(List<string> input, long d, long n)
{
   string result = "";
   BigInteger bi;
   foreach (string item in input)
   {
```

```
        bi = new BigInteger(Convert.ToDouble(item));
        bi = BigInteger.Pow(bi, (int)d);
        BigInteger n_ = new BigInteger((int)n);
        bi = bi % n_;
        int index = Convert.ToInt32(bi.ToString());
        result += characters[index].ToString();
    }
    return result;
}
```

Вычисление параметра d (d должно быть взаимно простым с m).

```
private long Calculate_d(long m)
{
    long d = m - 1;
    for (long i = 2; i <= m; i++)
        if ((m % i == 0) && (d % i == 0)) //если имеют общие делители
        { d--; i = 1;}
    return d;
}
```

Метод, вычисляющий значение параметра e.

```
private long Calculate_e(long d, long m)
{
    long e = 10;
    while (true)
    {
        if ((e * d) % m == 1)
            break;
        else
            e++;
```

```
    }


    return e;
}
```

6.3. Выполнение работы

Реализовать программу для шифрования / дешифрования текстов, работающую по алгоритму RSA.

Реализовать приложение для шифрования/ дешифрования, позволяющее выполнять следующие действия:

1. Вычислять открытый и закрытый ключи для алгоритма RSA:

1) числа p и q генерируются программой или задаются из файла;

2) числа p и q должны быть больше, чем 2^{128} ;

3) сгенерированные ключи сохраняются в файлы: открытый ключ – в один файл, закрытый – в другой.

4) исходный и зашифрованный тексты хранятся в файлах

Отчётные материалы

Преподавателю демонстрируется работающая программа и предоставляется печатный отчёт. Отчёт содержит оформленный согласно требованиям код программы и несколько результатов работы программы. Студент должен объяснить принцип работы алгоритма при защите лабораторной работы.

Контрольные вопросы

1. Дайте определение алгоритма с открытым ключом.

2. Сколько этапов содержит алгоритм RSA?

3. В чем заключается вычисление ключей алгоритма RSA?

4. Как происходит шифрование в алгоритме RSA?

5. Как происходит дешифрование в алгоритме RSA?

7. Лабораторная работа №7 Комбинирование симметричных и асимметричных алгоритмов

7.1. Цель работы

Освоить методику создания комбинированных алгоритмов шифрования, которые совмещают достоинства методов симметричной и асимметричной криптографии**.**

7.2. Краткие теоретические сведения

Симметричные алгоритмы и, в частности, DES – быстрые, поэтому ими удобно шифровать большие объёмы информации. Однако для передачи ключа симметричного алгоритма требуется надёжный канал передачи, который очень часто отсутствует. Таким образом, преимущества таких алгоритмов сводятся на нет. С другой стороны, асимметричные алгоритмы не требуют секретного канала для передачи ключа, но на практике криптосистемы с открытым ключом используются для шифрования не сообщений, а ключей. На это есть две основные причины:

1. Алгоритмы шифрования с открытым ключом в среднем работают в тысячи раз медленнее, чем симметричные алгоритмы, а также они требовательны к памяти и вычислительной мощности компьютера, поэтому большие тексты кодировать этими алгоритмами нецелесообразно.

2. Алгоритмы шифрования с открытым ключом уязвимы по отношению к криптоаналитическим атакам со знанием открытого текста. Пусть C=E(P)

где C обозначает шифртекст, P –открытый текст,E – функцию шифрования. Тогда, если P принимает значения из некоторого конечного множества, состоящего из n открытых текстов, криптоаналитику достаточно зашифровать все эти тексты, используя известный ему открытый ключ, и сравнить результаты с C . Ключ таким способом ему вскрыть не удастся, однако открытый текст будет успешно определён.

Возможно следующее решение: сообщение шифруется симметричным алгоритмом, что позволяет выиграть в скорости, т.к. сообщение может быть сколь угодно большим, а ключ симметричного алгоритма (обычно маленький, для DES – 56 бит) шифруется асимметричным алгоритмом.

7.3. Выполнение работы

Результатом данной лабораторной работы должны стать приложения, совмещающие в себе достоинства симметричных и асимметричных методов шифрования.

Реализовать приложение для шифрования, позволяющее выполнять следующие действия:

1. Шифровать симметричным алгоритмом DES открытый текст, а асимметричным RSA – ключ симметричного алгоритма;
   - шифруемый текст должен храниться в одном файле, открытый ключ для алгоритма RSA – в другом;
   - ключ для симметричного алгоритма DES должен генерироваться случайным образом;
   - зашифрованный текст должен сохраняться в одном файле, а зашифрованный асимметричным алгоритмом ключ симметричного алгоритма – в другом;
   - программа должна уметь работать с текстом произвольной длины.
2. Реализовать приложение для дешифрования.
   - Зашифрованный текст должен храниться в одном файле, зашифрованный ключ симметричного алгоритма – в другом, а секретный ключ для алгоритма RSA – в третьем.

Контрольные вопросы

1. Для чего и почему используют комбинированные криптоалгоритмы?
2. В чём заключаются достоинства и недостатки асимметричных алгоритмов?
3. В чём заключаются достоинства и недостатки симметричных алгоритмов?
4. Найти алгоритмом Евклида элемент d такой, что e*d=1(mod n), если e=15 n=82.

8. Лабораторная работа №8. Алгоритм N-хэш

8.1. Цель работы

Исследование особенности алгоритма n-хэш и его программная реализация.

8.2. Краткие теоретические сведения

Алгоритм N-хэш был предложен в 1990-м году исследователями компании Nippon Telephone and Telegraph. Он использует 128-разрядные блоки сообщения, сложную рандомизирующую функцию, а его результатом является 128-разрядное хэш-значение для исходного сообщения.

В основе алгоритма N-Hash лежит блочный алгоритм шифрования FEAL.

Алгоритм

Алгоритм N-Hash основан на циклическом повторении (12 или 15 раз — число раундов) операций. На входе имеется хеш-код h_0 и он может быть произвольным, на выходе получается хеш-код h сообщения M, которое необходимо хешировать. При этом размер выходящего хеш-кода фиксирован и равен 128 бит, тогда как размер M произволен. [8]

Основные обозначения

- M — сообщение, которое необходимо хешировать;

- M_i — блок сообщения длиной 128 бит. Для того, чтобы хешировать сообщение M необходимо поделить его на блоки M_i;
- h_i — хеш-код i-го шага;
- v=1010…1010 — константа, длиной 128 бит;
- || — конкатенация;
- $V_j=\delta||A_{j1}||\ \delta||A_{j2}||\ \delta||A_{j3}||\ \delta||A_{j4}||$, где $A_{jk}=4(j-1)+k$, где k=1, 2, 3, 4; δ=00..00 , длиной 24 бит;
- EXG — функция, которая меняет местами старшие и младшие разряды (64 младших и 64 старших);
- PS — преобразующая функция;

Описание алгоритма

- Покоординатное (попарное) суммирование означает сложение по модулю 2;
- Если *x* поступает на вход функции *f*, то на выходе получается *f(x)*.

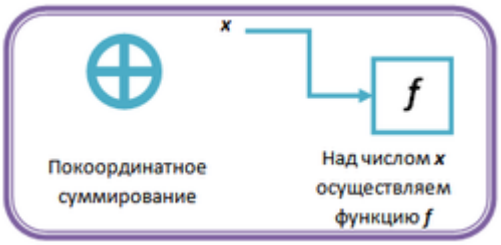


Рис. 7. Покоординатное (попарное) суммирование

Один цикл работы N-Hash

Ниже представлен один цикл работы алгоритма N-Hash.

- На вход функции g подается хеш-код (i-1)-го шага h_{i-1} и i-й блок сообщения M_i. При этом h_0 выбирается произвольно: например, он может быть нулевым. А также h_{i-1} подается на выход на операцию сложения по модулю 2, то есть результат (хеш-код следующего шага) будет выглядеть так: $h_{i-1} \oplus$(*нечто пока неизвестное*).

- Из схемы видно, что M_i подается не только на *XOR*, но и на выход на операцию сложения по модулю 2. То есть теперь в соответствии с первым пунктом результат выглядит таким образом: $h_{i-1} \oplus$ (*оставшееся пока неизвестным нечто*).

Оставшееся пока неизвестным нечто находится после прохождения каскада из восьми преобразующих функций. Его получение может быть описано таким образом:

- Функция EXG меняет местами старшие и младшие разряды h_{i-1} и прибавляет к результату v, после чего результат складывает по модулю 2 с M_i.
- Как видно из схемы, результат подается последовательно на входы j преобразующих функций, вторым аргументом которых является сумма $h_{i-1} \oplus V_j$, где j=1, … , 8.
- В результате получается хеш-код i-го шага h_i: $h_i=M_i \oplus g(M_i, h_{i-1}) \oplus h_{i-1}$.

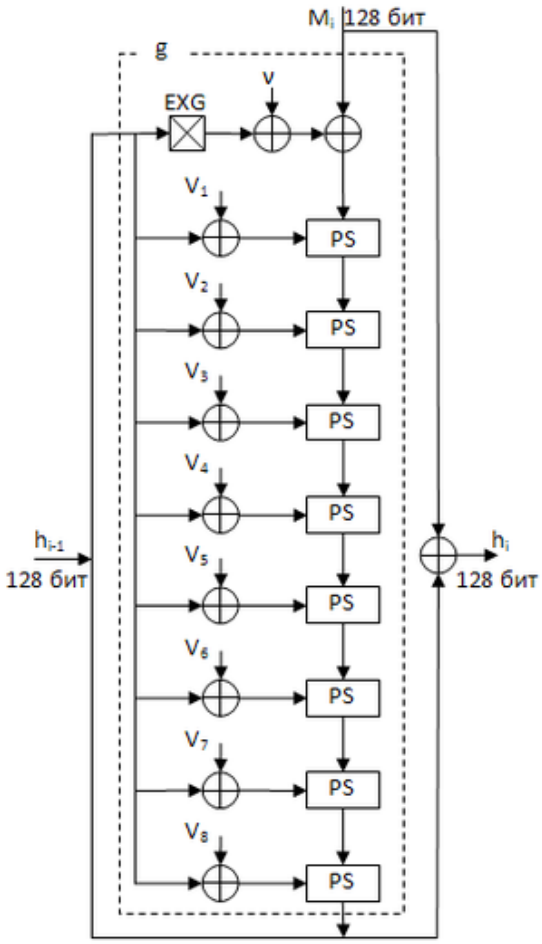


Рис.8. Один цикл работы N-Hash

Преобразующая функция

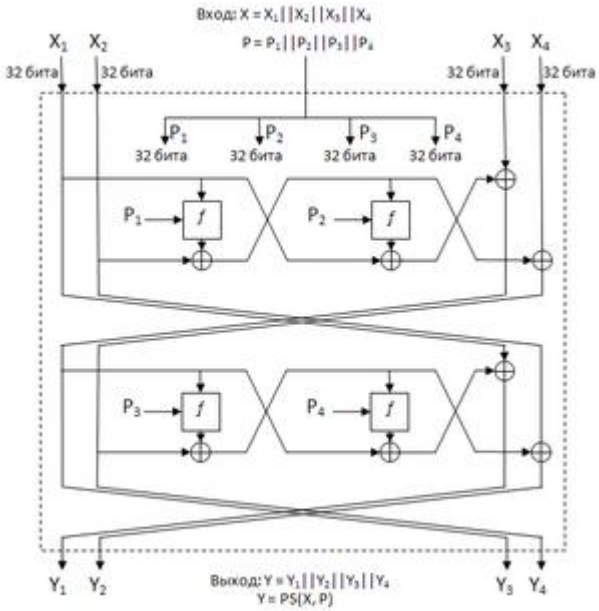


Рис. 9. Схема преобразующей функции. Каждый из аргументов разбивается на 4 блока по 32 бит каждый.

Возникает вопрос, как действует преобразующая функция PS(X,P).

Рассмотрим верхнюю часть схемы до перекрестья.

Исходное сообщение Хразбивается на блоки по 128/4=32 бита.

Будем считать *промежуточными выходами* входы в нижнюю часть схемы. X_1 и X_2 подаются на *промежуточные выходы*, а на два других выхода подаются операции $f(X_1, P_1) \oplus X_2 \oplus X_4$ и $f(f(X_1, P_1) \oplus X_2, P_2) \oplus X_1 \oplus X_3$. Теперь можно результаты на промежуточных выходах переобозначить и через них, аналогично верхней части, найти результаты на выходе нижней части, то есть и всей схемы в целом.[9]

Сделав все необходимые вычисления, получим, что при подаче на вход $X = X_1 || X_2 || X_3 || X_4$ сообщение на выходе $Y = Y_1 || Y_2 || Y_3 || Y_4$ можно представить как конкатенацию сообщений

- $Y_4 = X_2 \oplus X_4 \oplus f(X_1, P_1)$;
- $Y_3 = f(f(X_1, P_1) \oplus X_2, P_2) \oplus X_1 \oplus X_3$;
- $Y_2 = X_2 \oplus Y_4 \oplus f(Y_3, P_3)$;
- $Y_1 = f(f(Y_3, P_3) \oplus Y_4, P_4) \oplus X_1 \oplus Y_3$;
-

Поиск функции f(x, P)

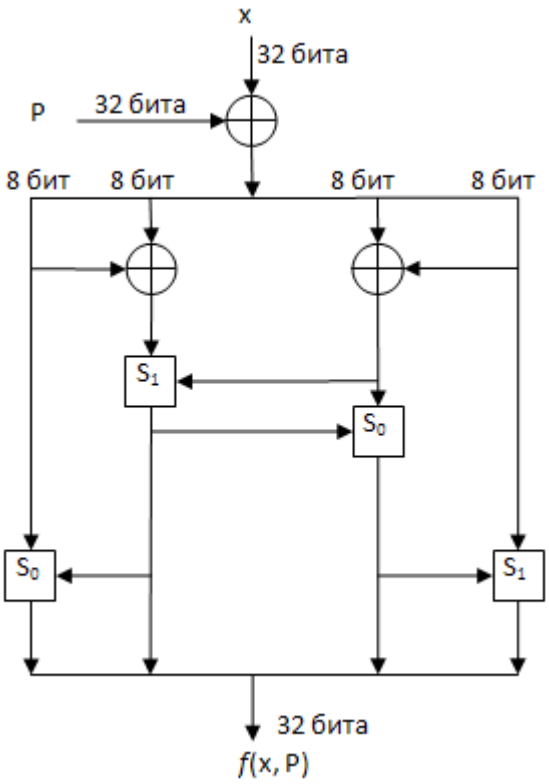


Рис. 10. Схема поиска функции f(x ,P)

Так как функция f работает с аргументами, длина которых составляет 32 бит, то из схемы поиска функции f(x, P) имеем:

- Величину x⊕P разбиваем на части по 8 бит.
- Запишем эти части как $x_i \oplus P_i$, i=1,…,4 и введёт новые обозначения:
  - $Z_1 = x_1 \oplus P_1$;
  - $Z_2 = x_2 \oplus P_2$;
  - $Z_3 = x_3 \oplus P_3$;
  - $Z_4 = x_4 \oplus P_4$;

Аргументами функции S_0 (первая стрелка слева) являются Z_1 и $S_1(Z_1 \oplus Z_2, Z_3 \oplus Z_4)$. Аргументами функции S_1 (вторая стрелка слева) являются $Z_1 \oplus Z_2$, $Z_3 \oplus Z_4$.

То есть две составляющие части из сообщения на выходе уже известны и равны

- $A_1 = S_0(Z_1, S_1(Z_1 \oplus Z_2, Z_3 \oplus Z_4))$;
- $A_2 = S_1(Z_1 \oplus Z_2, Z_3 \oplus Z_4)$;

Далее будем пользоваться уже полученными оставляющими частями сообщения на выходе для удобства записи:

- $A_3 = S_0(S_0(Z_3 \oplus Z_4), A_2)$;
- $A_4 = S_1(Z_4, A_3)$;

- Тогда сообщение на выходе можно представить в виде $A = A_1 || A_2 || A_3 || A_4$.

- Причём известно, что
  - S_0=(*левый циклический сдвиг на 2 бита*)(a+b) mod 256
  - S_1=(*левый циклический сдвиг на 2 бита*)(a+b+1) mod 256

Разработчика N-хэш советуют использовать не менее 8 раундов. [9]

8.3. Выполнение работы

Для выполнения работы необходимо:

1. В собственном рабочем пространстве создать проект с именем Lab04.
2. В коде реализовать отдельный модуль (nhash.h, nhash.cpp), содержащий класс для алгоритма N-хэш (назвать класс - NHash). Класс должен предусматривать ряд методов для работы. В частности, (1) должен быть предусмотрен механизм чтения исходного сообщения из потока (файла, памяти и пр.), (2) методы вычисления промежуточных функций должны быть скрытыми, (3) интерфейс класса должен быть максимально простым.
3. *Рассмотреть возможность настройки класса на использование произвольного числа этапов.

4. Реализовать консольное приложение Win32, которое требует передачи параметра - входной файл, и выводит на экран соответствующее значение ХЭШ в шестнадцатеричном формате. Запуск приложения должен осуществляться из командной строки, например: "C:\lab04.exe infile.txt". Для передачи параметров используются параметры argc и argv функции main() программы.
5. Выполнить проверку работы алгоритма для нескольких входных файлов.

*Не является обязательным требованием.

Примечание. Если исходное сообщение и имеет длину не кратную 128-разрядам (битам), то : (1) первоначально сообщение дополняется, что бы его длина стала меньше на 64 разряда, чем ближайшее число кратное 128 - для этого в конец добавляется единица и столько нулей, сколько необходимо, (2) последние 64 разряда заполняются 64 разрядным числом, равным длине исходного (до дополнения) сообщения.

Отчётные материалы

Преподавателю демонстрируется работающая программа и предоставляется печатный отчёт. Отчёт содержит оформленный согласно требованиям код программы и несколько результатов работы программы. Студент должен объяснить принцип работы алгоритма при защите лабораторной работы.

Контрольные вопросы

1. Что из себя представляет хэш функция?
2. Пояснить один цикл работы алгоритма N-Hash
3. Как формируется образующая функция для алгоритма N-Hash?
4. Какое минимальное количество раундов рекомендуется использовать в алгоритме N-Hash?

5. На какие блоки делится открытое сообщение во время N-Hash шифрования?

9. Лабораторная работа №9 . Алгоритм SHA

9.1 Цель работы

Исследование особенностей алгоритма SHA и его программная реализация.

9.2. Краткие теоретические сведения

SHA-1 реализует хеш-функцию, построенную на идее функции сжатия. Входами функции сжатия являются блок сообщения длиной 512 бит и выход предыдущего блока сообщения. Выход представляет собой значение всех хеш-блоков до этого момента. Иными словами хеш блока M_i равен $h_i=f(M_i, h_{i-1,})$. Хеш-значением всего сообщения является выход последнего блока

Описание алгоритма

Для сообщения произвольной длины *l*, не превышающей 2^{64} бит, алгоритм SHA-1 формирует 160-битный хеш-образ. Процедура формирования хеш-образа состоит из следующих шагов.

1. Исходное сообщение разбивается на блоки по 512 бит в каждом. Последний блок дополняется до длины, кратной 512 бит. Сначала добавляется 1 (бит), а потом нули, чтобы длина блока стала равной (512 - 64 = 448) бит. В оставшиеся 64 бита записывается длина исходного сообщения в битах (в big-endian формате). Если последний блок имеет длину более 448, но менее 512 бит, то дополнение выполняется следующим образом: сначала добавляется 1 (бит), затем нули вплоть до конца 512-битного блока; после этого создается ещё один 512-битный блок, который заполняется вплоть до 448 бит нулями, после чего в оставшиеся 64 бита записывается длина исходного сообщения в битах (в big-endian формате). Дополнение последнего

блока осуществляется всегда, даже если сообщение уже имеет нужную длину.

2. Инициализируются пять 32-битовых переменных.

- A = a = 0x67452301
- B = b = 0xEFCDAB89
- C = c = 0x98BADCFE
- D = d = 0x10325476
- E = e = 0xC3D2E1F0

○ Выполняется обработка очередных 512 бит исходного текста. Для этого значения переменных *A*, *B*, *C*, *D*, *E* копируются в переменные *a*, *b*, *c*, *d*, *e* и далее для *t* от 1 до 80 выполняется преобразование значений данных переменных по схеме, изображенной на рис. 11.

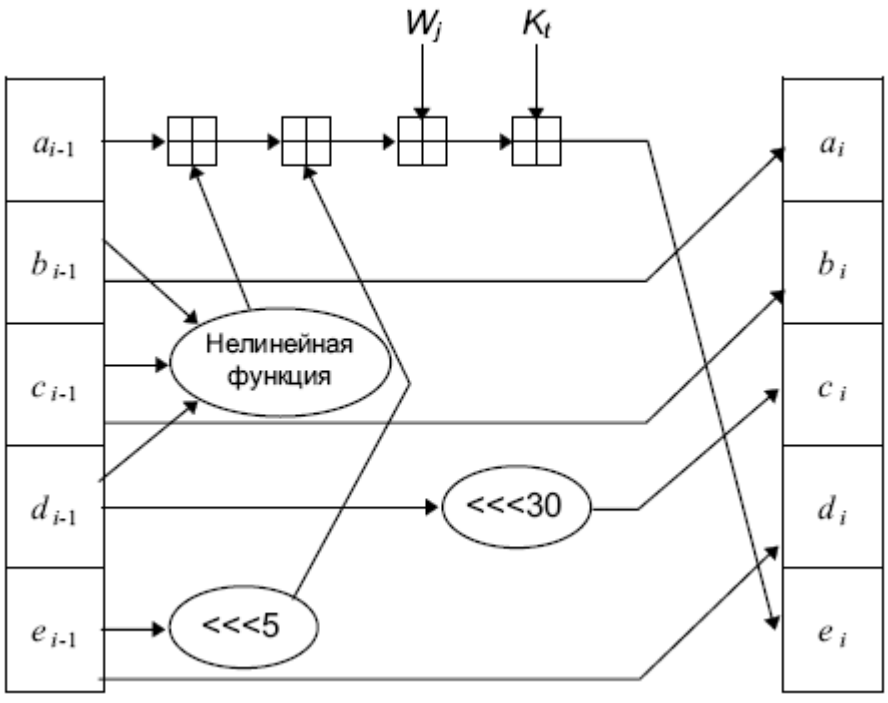


Рис. 11 . Схема итерации алгоритма SHA-1

Если t - номер операции (от 1 до 80), W_t представляет собой t-й подблок расширенного сообщения, а <<<s - циклический сдвиг влево на s битов, то главный цикл выглядит следующим образом:

для t **от** 0 **до** 79

temp = (a<<5) + f_t (b,c,d) + e +K_t
e = d
d = c
c = b<<30
b = a
a = temp

где «+» – операция сложения по модулю 2, $f_t(X, Y, Z)$ – нелинейная функция, имеющая следующий вид:

$$f_t(x,y,z) = \begin{cases} (x\&y)|(!\,x\&z), & t = \overline{1,20} \\ x \oplus y \oplus z, & t = \overline{21,40} \\ (x\&y)|(x\&z)|(y\&z), & t = \overline{41,60} \\ x \oplus y \oplus z, & t = \overline{61,80}\,, \end{cases}$$

где «&» – побитовая операция «И», «|» – побитовая операция «ИЛИ», «!» – операция побитового инвертирования, «⊕» – операция побитового сложения по модулю 2. Параметр K_t принимает четыре различных значения в зависимости от номера текущей итерации:

K_t = 5A82799916, $t = \overline{1,20}$;
K_t = 6ED9EBA116, $t = \overline{21,40}$;
K_t = 8F1BBCDC16, $t = \overline{41,60}$;
K_t = CA62C1D616, $t = \overline{61,80}$.

«<<<» – операция циклического сдвига на 30 либо 5 бит влево, W_t – одно из шестнадцати 32-битных слов 512-битного блока сообщения при $t = \overline{1,16}$, либо значение, определяемое в соответствии со следующим выражением при $t = \overline{17,80}$:

$$W_t = (W_t - 3 \oplus W_t - 8 \oplus W_t - 14 \oplus W_t - 16) <<< 1.$$

4. Значения переменных *a*, *b*, *c*, *d*, *e* независимо друг от друга складываются по модулю 2 со значениями переменных *A*, *B*, *C*, *D*, *E*, в которые затем и помещаются полученные результаты.

5. Шаги 3–4 выполняются до тех пор, пока не будет обработан весь текст. После обработки последнего блока текста значение хеш-образа формируется как *ABCDE*.[8]

9.3. Выполнение работы

Для выполнения работы необходимо:

1. В собственном рабочем пространстве создать проект с именем Lab04.
2. В коде реализовать отдельный модуль (SHA.h, SHA.cpp), содержащий класс для алгоритма SHA (назвать класс - SHA). Класс должен предусматривать ряд методов для работы. В частности, (1) должен быть предусмотрен механизм чтения исходного сообщения из потока (файла, памяти и пр.), (2) методы вычисления промежуточных функций должны быть скрытыми, (3) интерфейс класса должен быть максимально простым.
3. *Рассмотреть возможность настройки класса на использование произвольного числа этапов.
4. Реализовать консольное приложение Win32, которое требует передачи параметра - входной файл, и выводит на экран соответствующее значение SHA в шестнадцатеричном формате. Запуск приложения должен осуществляться из командной строки, например: "C:\lab04.exe infile.txt". Для передачи параметров используются параметры argc и argv функции main() программы.
5. Выполнить проверку работы алгоритма для нескольких входных файлов.

*Не является обязательным требованием.

Примечание. Если исходное сообщение и имеет длину не кратную 128-разрядам (битам), то : (1) первоначально сообщение дополняется, что бы его

длина стала меньше на 64 разряда, чем ближайшее число кратное 128 - для этого в конец добавляется единица и столько нулей, сколько необходимо, (2) последние 64 разряда заполняются 64 разрядным числом, равным длине исходного (до дополнения) сообщения.

Отчётные материалы

Преподавателю демонстрируется работающая программа и предоставляется печатный отчёт. Отчёт содержит оформленный согласно требованиям код программы и несколько результатов работы программы. Студент должен объяснить принцип работы алгоритма при защите лабораторной работы.

Контрольные вопросы

1. Каков размер блока для алгоритма SHA?
2. Пояснить процедуру формирования хеш-образа?
3. Пояснить схему итерации алгоритма SHA-1
4. На чем основан алгоритм SHA-1?
5. Какая образующая функция применяется в SHA-1?

10. Лабораторная работа №10. Программирование криптографических провайдеров на платформе .NET: Алгоритмы хэширования SHA-1 и MD5

10.1. Цель работы

Научиться использовать криптографические провайдеры хэш-функций в .NET Framework.

10.2. Краткие теоретические сведения

Пространство *System.Security.Cryptography* предоставляет набор примитивов, реализующих криптографические примитивы, включая шифры, хэш-функции, генераторы случайных чисел и др.

На самом высоком уровне пространство имен Cryptography можно разбить на четыре основные части (табл. 1). Главное предназначение этого пространства — предоставлять классы с алгоритмами таких операций, как шифрование и создание хэшей. Эти алгоритмы реализуются на основе расширяемого шаблона (pattern), включающего два уровня наследования.

На вершине иерархии располагается абстрактный базовый класс (вроде AsymmetricAlgorithm или HashAlgorithm), имя которого соответствует типу алгоритма. От такого класса наследует абстрактный класс второго уровня, предоставляющий открытый интерфейс для использования данного алгоритма. Например, SHA1 (Secure Hash Algorithm) представляет собой производный от HashAlgorithm класс и содержит методы и свойства, специфичные для алгоритма SHA1. Наконец, сама реализация алгоритма является производной от класса второго уровня; именно её экземпляр создается и используется клиентским приложением. На этом уровне реализация может быть управляемой, неуправляемой или и той и другой.

Таблица 10. Основные элементы пространства имен Cryptography

Элемент	**Описание**
Алгоритмы шифрования	Набор классов, применяемых для реализации алгоритмов симметричного и асимметричного шифрования, а также хэширования
Вспомогательные классы	Классы, обеспечивающие генерацию случайных чисел, выполнение преобразований, взаимодействие с хранилищем CryptoAPI и само шифрование на основе потоковой модели
Сертификаты X.509	Классы, определенные в пространстве имен System.Security.Cryptography. X509Certificates и представляющие цифровые сертификаты
Цифровые подписи XML	Классы, определенные в пространстве имен System.Cryptography.Xml и представляющие цифровые подписи в XML-документах

Пространство имен Cryptography содержит базовый класс HashAlgorithm и производные классы, поддерживающие алгоритмы MD5, SHA1, SHA256, SHA384 и SHA512. Алгоритм MD5 дает 128 битный хэш, а SHA1 — 160 битный. Числа в названиях других версий SHA-алгоритмов соответствуют длине создаваемых ими хэшей. Чем больше хэш, тем надежнее алгоритм и тем труднее его взломать. Все эти алгоритмы реализованы в двух версиях: на основе управляемого и неуправляемого кода.

HashAlqorithm
|— KeyedHashAlgorithm
| |— HMACSHA1
| |— MACTripleDES
|— MD5
| |— MD5CryptoServiceProvider
|— SHA1
| |— SHA1CryptoServiceProvider
| |— SHA1Managed
|— SHA256
| |— SHA256Managed
|— SHA384
| |— SHA384Managed
|— SHA512
| |— SHA512Managed

Рис. 12. Иерархия хэширующих алгоритмов

Чтобы вычислить дайджест, нужно просто создать экземпляр класса алгоритма хэширования и вызвать его перегруженный метод ComputeHash, наследуемый от HashAlgorithm:

```
FileStream fsData = new FileStream(«mydata.txt»,FileHode.Open, FileAccess.Read);

Byte[] digest;

SHA512Managed oSHA = new SHA512Managed(digest — oSHA.ComputeHash(fsData));

fsKey.Close()
```

Здесь методу ComputeHash передается объект Stream, но он принимает и байтовый массив. В пространстве имен Cryptography также имеется абстрактный класс KeyedHashAlgorithm. Алгоритмы, реализованные в

классах HMACSHA1 и MACTripleDES, производных от KeyedHashAlgorithm, позволяют генерировать Message Authentication Codes (MAC). С помощью MAC можно определить, были ли модифицированы данные, переданные по незащищенному каналу связи, — при условии, что и отправитель, и получатель используют общий секретный ключ. [6]

.NET Framework предоставляет следующие классы для вычисления хэш-значений:

- MD5CryptoServiceProvider
- SHA1CryptoServiceProvider и др. [7]

Следующий код демонстрирует использование данных провайдеров для вычисления хэш-значений для файла:

```
using System.IO;
using System.Security.Cryptography;
...
// вычисление MD5
FileStream fs = new FileStream("filename.ext", FileMode.Open, FileAccess.Read);
MD5 md5 = new MD5CryptoServiceProvider();
byte[] md5res = md5.ComputeHash(fs);
Console.WriteLine(ByteArrayToString(md5res));
fs.Close();

// вычисление SHA1
FileStream fs = new FileStream("filename.ext", FileMode.Open, FileAccess.Read);
SHA1 sha1 = new SHA1CryptoServiceProvider();
byte[] sha1res = sha1.ComputeHash(fs);
textBoxSHA1.Text = ByteArrayToString(sha1res);
fs.Close();
```

Следующий код реализует ByteArrayToString():

```
using System.Text;
...
// вспомогательная функция перевода байтового массива в шестнадцатеричную строку
static string ByteArrayToString(byte[] arrInput)
{
  int i;
  StringBuilder sOutput = new StringBuilder(arrInput.Length);
  for (i=0;i < arrInput.Length -1; i++)
  {
    sOutput.Append(arrInput[i].ToString("X2"));
```

```
  }
  return sOutput.ToString();
}
```

10.3. Выполнение работы

Реализовать консольное приложение на C# с меню, в котором пользователь выбирает функцию и файл для вычисления хэш-значения.

Исследовать пространство имён *System.Security.Cryptography.*

Контрольные вопросы

1. Какие классы для вычисления хэш-значений предоставляет .NET Framework ?
2. Перечислить основные элементы пространства имен Cryptography.
3. Как вычислить дайджест?
4. Пояснить иерархию хэширующих алгоритмов?

11. Лабораторная работа №10 Программирование криптографических провайдеров на платформе .NET: Алгоритм цифровой подписи DSA

11.1. Цель работы

Научиться использовать криптографические провайдер электронной цифровой подписи DSA в .NET Framework.

11.2. Краткие теоретические сведения

Электронная цифровая подпись (ЭЦП), как и обычная, позволяет установить некую отметку, указывающую на принадлежность электронного сообщения конкретному автору. Алгоритмы цифровой подписи тесно связаны с асимметричными шифрами. Например, алгоритм цифровой

подписи RSA – это практически шифр RSA, но шифруется не само сообщение, а его дайджест, и шифрование производится не на открытом ключе, а на закрытом. В этом случае любой получатель, имеющий открытый ключ автора, может расшифровать дайджест и проверить его правильность. [7]

Следующий код демонстрирует использование DSACryptoServiceProvider:

```
using System;
using System.Collections.Generic;
using System.Text;
using System.IO;
using System.Security.Cryptography;

namespace DSAApp
{
class Program
{
static void Main(string[] args)
{
// Экземпляр DSACryptoServiceProvider будет использоваться для
// начальной генерации и как контейнер ключей подписи и проверки
DSACryptoServiceProvider key = new DSACryptoServiceProvider();

// Массив с данными для подписи
byte[] dataToSign =
{ 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15,
16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 30, 31 };

Console.WriteLine("Подписывается массив:");
Console.WriteLine(ByteArrayToString(dataToSign));

// Вызов функции Sign() для получения подписи
// dataToSign - массив байт, для которого вычисляется подпись
// key.ExportParameters(true) - извлекает структуру DSAParameters с
// включением информации секретного ключа подписи
byte[] signature = Sign(dataToSign, key.ExportParameters(true));

Console.WriteLine("Подпись:");
Console.WriteLine(ByteArrayToString(signature));

Console.Write("Проверка подписи ... ");

// Вызов функции VerifySignature для проверки подписи
// dataToSign - массив байт, для которого проверяется подпись
// signature - массив байт, содержащий подпись
```

```
// key.ExportParameters(false) - извлекает структуру DSAParameters с
// включением ТОЛЬКО информации открытого ключа проверки подписи
bool acceptSignature = VerifySignature(dataToSign, signature, key.ExportParameters(false));
if (acceptSignature)
{
Console.WriteLine("УСПЕШНО!");
}
else
{
Console.WriteLine("ОШИБКА.");
}

Console.ReadLine();
}

//
// Функция вычисляет цифровую подпись DSA для массива байт data с ключом privateKey
//
static byte[] Sign(byte[] data, DSAParameters privateKey)
{
// Экземпляр провайдера DSA
DSACryptoServiceProvider dsa = new DSACryptoServiceProvider();

// Импорт ключа для вычисления подписи
dsa.ImportParameters(privateKey);

// Вычисление и возврат массива байт подписи
return dsa.SignData(data);
}

//
// Функция проверяет цифровую подпись signature для data с ключом publicKey
//
static bool VerifySignature(byte[] data, byte[] signature, DSAParameters publicKey)
{
// Экземпляр провайдера DSA
DSACryptoServiceProvider dsa = new DSACryptoServiceProvider();

// Импорт ключа для проверки подписи
dsa.ImportParameters(publicKey);

// Возврат статуса проверки подписи
return dsa.VerifyData(data, signature);
}

//
// Функция преобразует байтовый массив в шестнадцатеричную строку
//
static string ByteArrayToString(byte[] arrInput)
{
int i;
StringBuilder sOutput = new StringBuilder(arrInput.Length);
```

```
for (i = 0; i < arrInput.Length - 1; i++)
{
sOutput.Append(arrInput[i].ToString("X2"));
}
return sOutput.ToString();
}

}
}
```

11.3. Выполнение работы

Изучить представленный код и запустить программу.

Отчётные материалы

Не предоставляются.

Контрольные вопросы

1 . Что такое ЭЦП?

2. Какие существуют алгоритмы формирования ЭЦП?

3. Как может использоваться экземпляр DSACryptoServiceProvider?

4. Как проверяется подпись?

Список литературы

1. Баричев С.Г., Гончаров В.В., Серов Р.Е. Основы свременной криптографии: Учебный курс. - М.: Горячая линия-Телеком, 2002. - 175 с. ISBN 5-93517-075-2.
2. Варфоломеев А.А. Современная прикладная криптография: Учеб. пособие. – М.: РУДН, 2008. – 218 с.
3. Нестеров С. А. Информационная безопасность и защита информации: Учеб. пособие. – СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2009. – 126 с. ISBN 978-5-7422-2286-6
4. Рябко Б.Я., Фионов А.Н. Основы современной криптографии для специалистов в информационных технологиях. – М.: Научный мир, 2004. – 173 с. ISBN 5 – 89176-233-1
5. Алексей Остапенко Хеширование, шифрование и цифровая подпись с использованием CryptoAPI и .NET. Режим доступа: https://www.rsdn.org/article/crypto/cryptoapi.xml
6. Кумар Винод, Кровчик Эндрю, Лагари Номан .NET Сетевое программирование.М: Лори, 2014 г. 192 с. ISBN: 978-5-85582-373-8
7. Лапонина О.Р. Криптографические основы безопасности. - М.: Изд-во "Интернет-университет информационных технологий - ИНТУИТ.ру", 2004. - 320 с. ISBN 5-9556-00020-5
8. Н. Смарт Криптография. М.: Техносфера, 2005. 528 с. ISBN 5-94836-043-1
9. Брюс Шнайер. Прикладная криптография. Протоколы, алгоритмы, исходные тексты на языке Си. - М.: "Триумф", 2002 - 816 с.: ил. Тир. 3000 экз., ISBN 5-89392-055-4
10. В. В. Ященко Введение в криптографию М.: МЦНМО, 2012. _ 348 с. ISBN 978-5-4439-0026-1