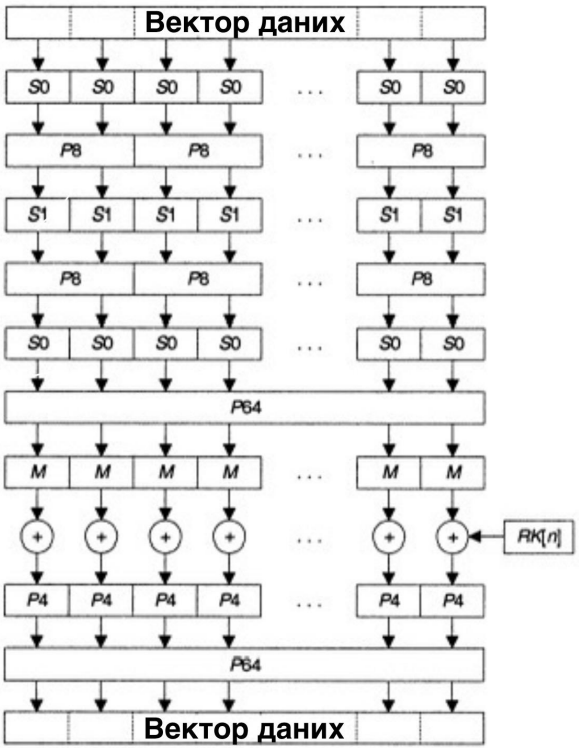
Алгоритм ICEBERG

Алгоритм шифрування ICEBERG запропонований відносно нещодавно у 2004 р. – французьким криптологом Жилем-Франсуа Піре (Gilles-François Piret).

ICEBERG - це абревіатура від “Involutional Cipher Efficient for Block Encryption in Reconfigurable Hardware”, “Інволюційний шифр для ефективного блокового шифрування в реконфігурованому (перебудованому) апаратному забезпеченні”.

Структура алгоритму

Алгоритм ICEBERG шифрує дані 64-бітових блоків з використанням 128-бітного ключа шифрування. Оброблюваний блок даних подається у вигляді 64-бітового вектора, над яким у кожному раунді алгоритму послідовно виконуються операції.



1. Таблична заміна S_0 . Вектор даних подається у вигляді 16 значень по 4 біти, кожне з яких заміщається згідно з таблицею:

Вхідне значення	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	A	B	C	D	E	F
Вихідне значення	D	7	3	2	9	A	C	1	F	4	5	E	6	0	B	8

2. Бітова перестановка P8, що переставляє біти вектора даних за наступним правилом:

$$y_{8i+j} = x_{8i+p8(j)}, i = 0...7, j = 0...7,$$

де:

- x_n та y_n - відповідно, вхідний та вихідний біти вектора даних;
- функція p8() визначена згідно таблиці:

Вхідне значення	0	1	2	3	4	5	6	7
Вихідне значення	0	1	4	5	2	3	6	7

3. Таблична заміна S_1, що працює аналогічно до заміни S_0, але згідно з іншою таблицею:

Вхідне значення	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	A	B	C	D	E	F
Вихідне значення	4	A	F	C	0	D	9	B	E	6	1	7	3	5	8	2

4. Знову виконується перестановка P8, після якої повторно застосовується таблична заміна S_0.

5. Бітова перестановка P64, що переставляє біти вектора даних наступним чином:

$$y_i = x_{p64(i)}, i = 0...63,$$

де функція p64() визначена згідно таблиці:

0	12	23	25	38	42	53	59	22	9	26	32	1	47	51	61
24	37	18	41	55	58	8	2	16	3	10	27	33	46	48	62
11	28	60	49	36	17	4	43	50	19	5	39	56	45	29	13
30	35	40	14	57	6	54	20	44	52	21	7	34	15	31	63

Згідно таблиці вхідним значенням 0, 1, 2, ... відповідають вихідні значення 0, 12, 23 і т.д.

6. Операція множення на матрицю M. Застосовується до кожного 4-бітного фрагмента вектора даних шляхом його множення на фіксовану матрицю

0	1	1	1
1	0	1	1
1	1	0	1
1	1	1	0

Це аналогічно до застосування наступної табличної заміни:

Вхідне значення	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	A	B	C	D	E	F
Вихідне значення	0	E	D	3	B	5	6	8	7	9	A	4	C	2	1	F

7. Накладання матеріалу ключа (операція δ):

$$y_i = x_i \bigoplus RK[n]_i,$$

де $RK[n]_i$ - і-й біт фрагмента розширеного ключа для n-го раунду (процедура розширення ключа буде описана далі).

8. Бітова перестановка P4, яка застосовується до кожного 4-бітного фрагмента векторних даних:

$$y[i]_j = x[i]_{p4(j)}, i = 0..15, j = 0..3,$$

де y[i] та x[i] - відповідно, вхідне та вихідне значеннння і-го 4-бітного фрагмента, а функція p4() визначається згідно таблиці

Вхідне значення	0	1	2	3
Вихідне значення	1	0	3	2

9. Повторно застосовується описана швидше операція P64.

Алгоритм складається із 15 раундів перетворень. Перед першим раундом виконується попереднє накладення ключа, а після заключного раунду - фінальне перетворення, що складається з наступних операцій (описаних вище):

- табличної заміни S_0;
- бітової перестановки P8;
- табличні заміни S_1;
- бітової перестановки P8;
- табличної заміни S_0.

При розшифруванні виконуються абсолютно ті ж операції, але фрагменти розширеного ключа використовуються у зворотному порядку (при цьому вони формуються дещо інакше, ніж при зашифруванні - див. далі).

Процедура розширення ключа

Процедура розширення ключа складається із декількох етапів.

На першому етапі з вихідного 128-бітного ключа шифрування K наступним чином обчислюється послідовність 128-бітових проміжних ключів

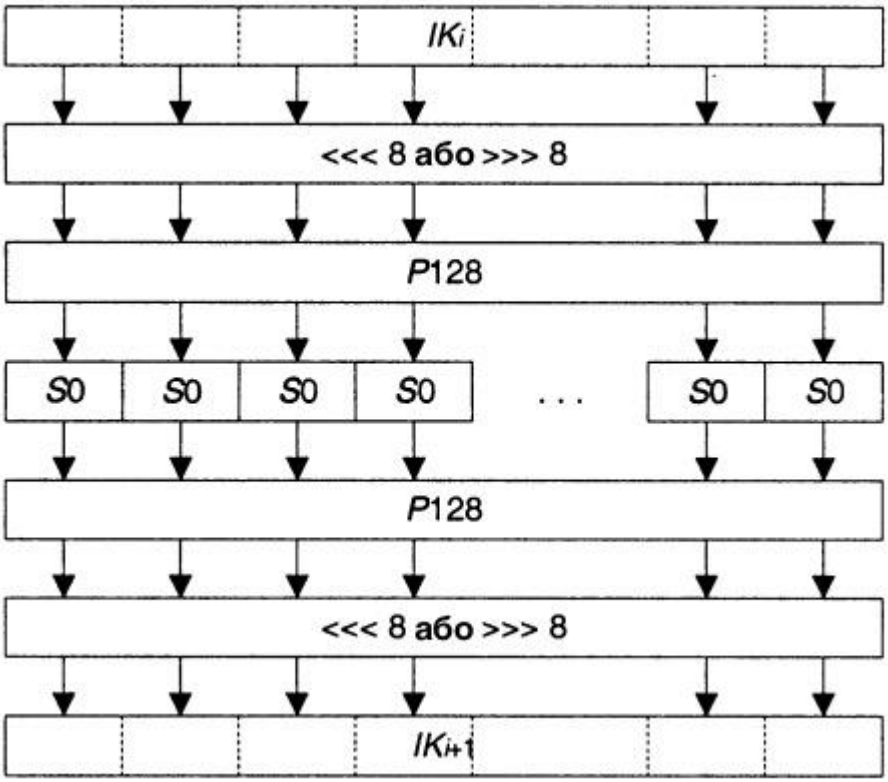
$IK_0 \dots IK_{16}$:

$IK_0 = K;$

$IK_{i+1} = G(IK_i, C_i),$

де G() - раунд процедури розширення ключа, а C_i - модифікуючі константи.

У кожному раунді виконується наступна послідовність дій:



1. Операція τ здійснює циклічний зсув вхідних даних в залежності від значення C_i:

- при C_i = 0 виконується обертання на 8 бітів ліворуч;
- при C_i = 1 - циклічний зсув на 8 бітів праворуч.

Константи C_i визначено як 0 для першої половини раундів, тобто для i=0...7, для решти раундів C_i = 1.

2. Бітова перестановка P128 здійснює перестановку за наступним законом:

$$y_i = x_{p128(i)}, i = 0...127,$$

де функція p128() визначена згідно таблиці:

76	110	83	127	67	114	92	97	98	65	121	106	78	112	91	82
71	101	89	126	72	107	81	118	90	124	73	88	64	104	100	85
109	87	75	113	120	66	103	115	122	108	95	69	74	116	80	102
84	96	125	68	93	105	119	79	123	86	70	117	111	77	99	94
28	9	37	4	51	43	58	16	20	26	44	34	0	61	12	55
46	22	15	2	48	31	57	33	27	18	24	14	6	52	63	42
49	7	8	62	30	17	47	38	29	53	11	21	41	32	1	60
13	35	5	39	45	59	23	54	36	10	40	56	25	50	19	3

Вхідні значення 0, 1, 2, ... відповідають вихідні значення 76, 110, 83 і т.д.

3. До 4-бітних фрагментів оброблюваних даних застосовується описана вище таблична заміна S_0.

4. Повторно застосовується перестановка P128, після якої повторно виконується операція τ.

На наступному етапі формується 64-бітові підключі $IK'_0 \ldots IK'_{16}$, які просто “набираються” зі значень непарних бітів відповідних проміжних ключів $IK_0 \ldots IK_{16}$.

На заключному етапі процедури розширення ключа обчислюється раундові ключі RK[n]. Для цього кожен 4-бітний фрагмент кожного підключа $IK'_0 \ldots IK'_{16}$ паралельно обробляється операцією ϕ , яка визначена наступним чином:

$$y_0 = ((x_0 \oplus x_1 \oplus x_2)\,\&\,b) \,|\, ((x_0 \oplus x_1)\,\&\,(\sim b));$$

$$y_1 = ((x_1 \oplus x_2)\,\&\,b) \,|\, (x_1\,\&\,(\sim b));$$

$$y_2 = ((x_2 \oplus x_3 \oplus x_0)\,\&\,b) \,|\, ((x_2 \oplus x_3)\,\&\,(\sim b));$$

$$y_3 = ((x_3 \oplus x_0)\,\&\,b) \,|\, (x_3\,\&\,(\sim b)),$$

де:

- y_i та x_i - і-ті біти, відповідно, вхідного і вихідного значення;
- b - модифікуючий біт, його призначення буде пояснено далі;
- $\sim$- логічна операція заперечення;
- & - логічна операція “і”;
- | - логічна операція “або”.

Модифікуючий біт b керує формуванням різних значень підключів для зашифрування та розшифрування:

- при зашифруванні для операції попереднього накладання ключа і 15 раундів перетворень відповідні підключі (RK[0] і RK[1]...RK[15]) формуються зі значенням b = 1; підключ RK[16], що використовується у фінальному перетворенні, формується зі значенням b = 0;
- при розшифруванні для попереднього накладання ключа і 15 раундів перетворень використовуються, відповідно, фрагменти RK[16] і RK[15]...RK[1], які формуються з модифікуючим бітом b=0; підключ RK[0], що використовується у фінальному перетворенні, формується зі значенням b = 1.

Алгоритм ICEBERG заснований на інволюційній структурі, так що пряма і зворотна операції шифру можуть виконуватися з абсолютно однаковими апаратними засобами. Усі його компоненти легко вписуються в 4-розрядні вхідні таблиці пошуку FPGA (Програмована користувачем вентильна матриця), а його планування ключів дозволяє отримувати круглі ключі «на льоту» в

режимі шифрування та дешифрування. На додаток до апаратної ефективності, ключ і гнучкість шифрування і дешифрування дозволяють розглядати нові режими шифрування для протидії певним атакам на бічних каналах.

На практиці потенційними застосуваннями ICEBERG є дуже недорогі апаратні криптопроцесори та високопродуктивне шифрування даних.

Алгоритм ICEBERG з’явився відносно нещодавно і, мабуть, не викликав широкого інтересу з боку криптологів - будь-які роботи, присвяченні криптоаналізу даного алгоритму, не набули широкої популярності.