Laboratorium z kryptografii

Zajęcia 2: Szyfr S-DES

1 Zasada działania algorytmu

Jest to uproszona wersja systemu DES, systemu korzystającego z szyfrowania z kluczem symetrycznym. Do odszyfrowania używa się tego samego klucza co do szyfrowania.

1.1 Struktura algorytmu

Szyfr S-DES operuje na 8 bitowych blokach tekstu. W przypadku kiedy ostatnio blok tekstu posiada mniej niż 8 bitów, należy uzupełnić go zerami. Przykładowo $(1,1,1,1,0,0,0) \rightarrow (1,1,1,1,0,0,0,0)$. Tak przygotowane bloki podlegają kolejnym krokom algorytmu:

1. Permutacja wstępna PW:

$$PW \equiv \begin{pmatrix} 0 & 1 & 2 & 3 & 4 & 5 & 6 & 7 \\ 1 & 5 & 2 & 0 & 3 & 7 & 4 & 6 \end{pmatrix}.$$

2. Szyfrowanie kluczem rundy pierwszej.
3. Krzyżowanie, czyli zamiana miejscami pierwszych 4 bitów z ostatnimi czterema, co można zapisać jako permutację:

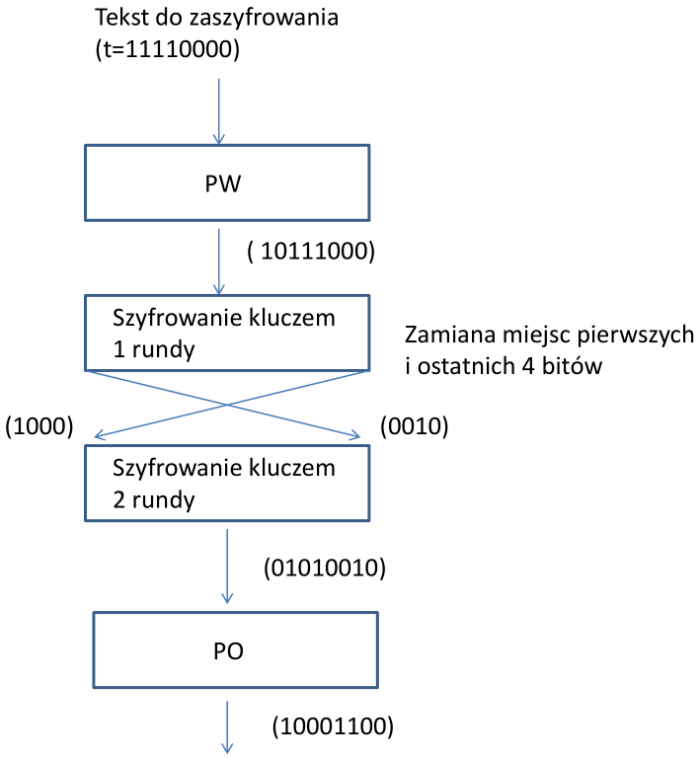
$$\begin{pmatrix} 0 & 1 & 2 & 3 & 4 & 5 & 6 & 7 \\ 4 & 5 & 6 & 7 & 0 & 1 & 2 & 3 \end{pmatrix}.$$

4. Szyfrowanie kluczem rundy drugiej.
5. Algorytm kończy permutacja odwrotna PO:

$$PO \equiv \begin{pmatrix} 0 & 1 & 2 & 3 & 4 & 5 & 6 & 7 \\ 3 & 0 & 2 & 4 & 6 & 1 & 7 & 5 \end{pmatrix}.$$

Deszyfrowanie przebiega w kolejności:

1. Permutacja wstępna PW.
2. Szyfrowanie kluczem rundy drugiej.
3. Krzyżowanie.
4. Szyfrowanie kluczem rundy pierwszej.
5. Permutacja odwrotna PO.



Rysunek 1: Schemat blokowy algorytmu szyfrowania S-DES

1.2 Generacja kluczy pierwszej i drugiej rundy

Klucze pierwszej oraz drugiej rundy otrzymywane są na podstawie dziesięcio bitowego klucza początkowego k_p (przykładowo $k_p = (1,1,0,0,0,0,0,0,1,1)$) przetwarzanego w kolejnych krokach:

1. Permutacja P10 ciągu bitów k_p opisana wzorem:

$$P10 \equiv \begin{pmatrix} 0 & 1 & 2 & 3 & 4 & 5 & 6 & 7 & 8 & 9 \\ 2 & 4 & 1 & 6 & 3 & 9 & 0 & 8 & 7 & 5 \end{pmatrix}.$$

   $P10(k_p) = (0,0,1,0,0,1,1,1,0,0)$.

2. Podział otrzymanego ciągu dziesięcio bitowego na dwa pięcio bitowe k_0^0 i k_0^1 (na dwie połowy).
   $k_0^0 = (0,0,1,0,0)$, $k_0^1 = (1,1,1,0,0)$.

3. Przesunięcie otrzymanych ciągów o jedną pozycję „w lewo" tj. permutacja SL1:

$$SL1 \equiv \begin{pmatrix} 0 & 1 & 2 & 3 & 4 \\ 1 & 2 & 3 & 4 & 0 \end{pmatrix}.$$

   $SL1(k_0^0) = (0,1,0,0,0)$, $SL1(k_0^1) = (1,1,0,0,1)$.

4. Klucz rundy pierwszej otrzymuje się poprzez operację P10w8:

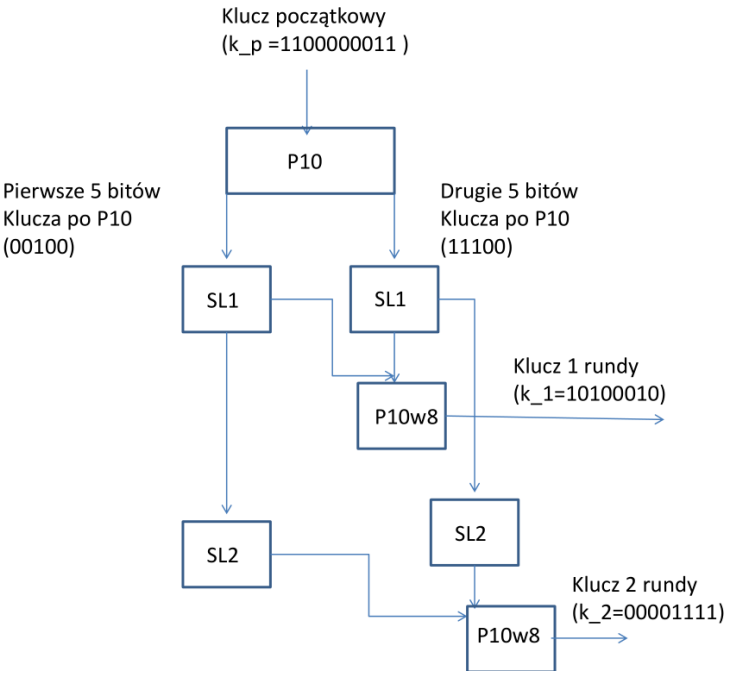
$$P10w8 \equiv \begin{pmatrix} 0 & 1 & 2 & 3 & 4 & 5 & 6 & 7 \\ 5 & 2 & 6 & 3 & 7 & 4 & 9 & 8 \end{pmatrix}.$$

   przenoszącą ciąg 10 bitowy powstały z połączenia otrzymanych w poprzednim kroku ciągów (w kolejności $SL1(k_0^1) + SL1(k_0^1)$ (0,1,0,0,0,1,1,0,0,1)) **na ciąg 8 bitowy**.
   $k_1 = P10w8(0,1,0,0,0,1,1,0,0,1) = (1,0,1,0,0,0,1,0)$.

5. Klucz rundy drugiej rundy otrzymuje się poprzez operację P10w8 ciągu bitów $SL2\left(SL1(k_0^1)\right) + SL2\left(SL1(k_0^1)\right)$, gdzie SL2

$$SL2 \equiv \begin{pmatrix} 0 & 1 & 2 & 3 & 4 \\ 2 & 3 & 4 & 0 & 1 \end{pmatrix}.$$

   $k_2 = PW10w8\left[SL2\left(SL1(k_0^1)\right) + SL2\left(SL1(k_0^1)\right)\right] = PW10w8(0,0,0,0,1,0,0,1,1,1) = (0,0,0,0,1,1,1,1)$.



Rysunek 2: Schemat generacji kluczy I i II rundy

1.3 Szyfrowanie kluczem 1 i 2 rundy

Szyfrowanie kluczem 1 i 2 rundy przebiega w następującej kolejności

1. Tekst do zaszyfrowania t=(1,0,1,1,1,0,0,0) dzielony jest na dwa 4 bitowe ciągi (1,0,1,1), (1,0,0,0). Z drugiego ciągu utworzona jest dodatkowa kopia.

2. Pierwsza z kopii drugiego ciągu (1,0,0,0) poddawana jest operacji P4w8:

$$P4w8 \equiv \begin{pmatrix} 0 & 1 & 2 & 3 & 4 & 5 & 6 & 7 \\ 3 & 0 & 1 & 2 & 1 & 2 & 3 & 0 \end{pmatrix}.$$

   Tworzącą z ciągu 4 bitowego ciąg 8 bitowy.
   $P4w8(1,0,0,0) = (0,1,0,0,0,0,0,1)$.

3. Do otrzymanego ciągu dodawany jest binarnie (w ciele $\mathbb{Z}_2$) klucz odpowiedniej rundy. W przypadku rundy pierwszej przykładowo otrzymuje się:
   $Xor\,[(0,1,0,0,0,0,0,1),(1,0,1,0,0,0,1,0)] =$
   $(0,1,0,0,0,0,0,1) \oplus (1,0,1,0,0,0,1,0) =$
   $(1,1,1,0,0,0,1,1)$.

4. Wynik dodawania ponownie dzielony jest na dwa 4 bitowe ciągi. Pierwszy z nich przekształcany jest przez funkcje $SBox1$ natomiast drugi przez $SBox2$, zdefiniowane części **1.4**, tworząc dwa dwu bitowe ciągi.
   $SBox1(1,1,1,0) = (1,1)$ $SBox2(0,0,1,1) = (0,0)$.

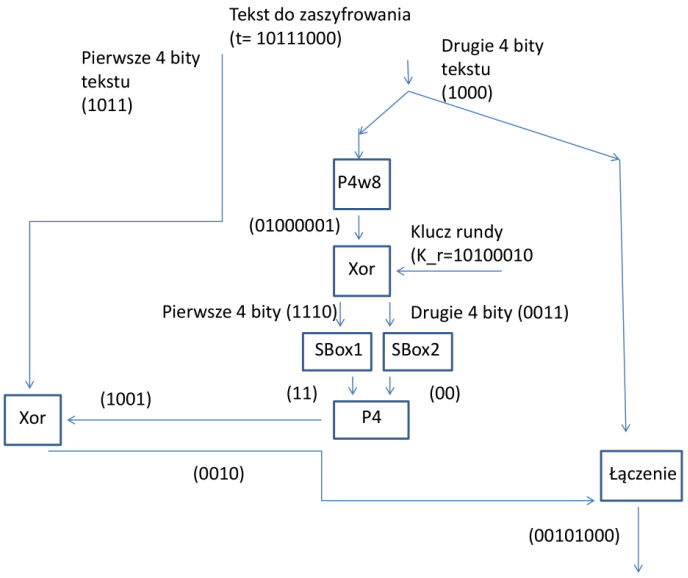
5. Otrzymane ciągi łączone są w jeden ciąg 4 bitowy w kolejności wynik $SBox1$ + wynik $SBox2$, po czym działa się na nie permutacją P4:

$$P4 \equiv \begin{pmatrix} 0 & 1 & 2 & 3 \\ 1 & 3 & 2 & 0 \end{pmatrix}.$$

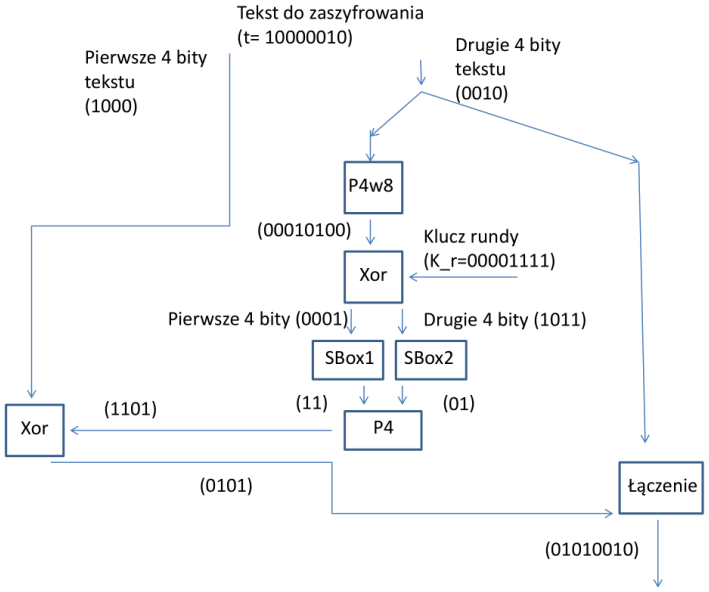
   $P4(1,1,0,0) = (1,0,0,1)$.

6. Uzyskany ciąg dodawany jest binarnie do pierwszych czterech bitów tekstu t.
   $Xor\,[(1,0,1,1),(1,0,0,1)] = (1,0,1,1) \oplus (1,0,0,1) =$
   $(0,0,1,0)$.

7. Otrzymana suma łączona jest z drugą kopią drugich czterech bitów tekstu t tworząc 8 bitowy ciąg.
   $(0,0,1,0) + (1,0,0,0) = (0,0,1,0,1,0,0,0)$



Rysunek 3: Szyfrowanie kluczem rundy pierwszej



Rysunek 4: Szyfrowanie kluczem rundy drugiej

Szyfrowanie kluczem rundy drugiej przebiega w sposób analogiczny przy użyciu klucza k_2 w miejscu klucza k_1 w omówionej porcedurze.

1.4 SBox1 i SBox2

SBoxy są to funkcje nieliniowe zapewniające bezpieczeństwo wielu nowoczesnych szyfrów. W omawianym przykładzie algorytmu S-DES $SBox1$ oraz $SBox2$ można przedstawić w postaci tabel:

$SBox1$	c0	c1	c2	c3
r0	1	0	3	2
r1	3	2	1	0
r2	0	2	1	3
r3	3	1	3	2

$SBox2$	c0	c1	c2	c3
r0	0	1	2	3
r1	2	0	1	3
r2	3	0	1	0
r3	2	1	0	3

Na podstawie 4 bitowego ciągu wejściowego (a, b, c, d), gdzie $a, b, c, d \in \{0, 1\}$, $SBox$ zwraca dwu bitowy ciąg kodujący jedną z liczb z tabeli. Aby określić wiersz, w którym znajduje się poszukiwana liczba, należy przekształcić ciąg złożony z pierwszego i czwartego bitu ciągu wejściowego (tj. (a,d)) do postaci dziesiętnej. Kolumnę natomiast wyznacza drugi oraz trzeci wyraz ciągu wejściowego (tj. ciąg (b,c)).
Przykład:
$SBox1(1,1,1,0) \rightarrow$ wiersz: $(1,0) = 2$ kolumna: $(1,1) = 3 \Rightarrow SBox1(1,1,1,0) = (1,1)$
$SBox2(0,0,1,1) \rightarrow$ wiersz: $(0,1) = 1$ kolumna: $(0,1) = 1 \Rightarrow SBox1(0,0,1,1) = (0,0)$

2 ZADANIA

1. Dla zadanego z konsoli ciągu bitów (maksymalnie długości 8 bitów) oraz klucza długości dokładnie 10 bitów (może być ustawiony „na sztywno” w programie) napisać program szyfrujący algorytmem S-DES
2. Dla zadanego z konsoli szyfrogramu (maksymalnie długości 8 bitów) oraz klucza długości dokładnie 10 bitów (może być ustawiony „na sztywno” w programie) napisać program deszyfrujący algorytmem S-DES.

Punktacja - łącznie 10 punktów

- 1 punkt - wczytywanie tekstu (o długości do 8 bitów) i uzupełnianie go zerami w przypadku ciągu krótszego niż 8 znaków.
- 3 punkty - poprawna generacja kluczy I i II rundy oraz wyświetlenie ich w programie.
- 2 punkty - poprawna implementacja $SBox$ów i zwracanych przez nie wartości w programie w systemie dziesiętnym.
- 3 punkty - poprawna implementacja szyfrowania kluczem I i II rundy oraz wyświetlenie ich wyników w programie
- 1 punkt - poprawne uzyskiwanie szyfrogramu i jego odszyfrowywanie (wyświetlone w programie)