# В**ступ**

В теперішній час одною з найважливіших проблем, пов’язаних із захистом конфіденційності інформації, що передається в інформаційно-телекомунікаційних системах, є потреба в генераторах псевдовипадкових послідовностей, що відповідають високим вимогам до рівномірності розподілу ймовірностей чисел, що формуються ними. Генератор ,слабкий з криптографічної точки зору, може значно ослабити захищеність інформаційної системи. Сьогодні відомо декілька сотень шифрів, які можуть ефективно використовуватися для захисту інформації. Незважаючи на це багато спеціалістів і організацій неперервно працюють над вдосконаленням відомих шифрів і пошуком нових. Президент України недавно заявив : Кіберпростір перетворився на ще одне поле протистояння і боротьби за незалежність держави. І це застереження без перебільшень дуже важливе. Слід нагадати, що група CERT-UA при Держспецзв'язку 2014 року зафіксувала 216 кібернападів ззовні (більше половини з них - на державні установи). У 2015 році число атак збільшилося у півтора разу. Найнебезпечніша атака відбулась 23 грудня, коли було завдано масованого вдару по диспетчеру компанії «Укренерго» і 6 енергокомпаніям, що призвело до відключення енергії у 103 населених пунктах на Заході країни. Американські експерти встановили, що ця масована кібердиверсія була здійснена з боку РФ . При проектуванні сучасної мікроелектронної техніки неможливо обходитись без криптографічних засобів захисту інформації. Це стосується мобільних телефонів, мобільних комп’ютерів, смартфонів та багато іншої мікроелектронної техніки, яка може використовуватися для передачі конфіденційної інформації. Так в 2016 році американська фірма WhatsApp вдосконалила і впровадила нову систему шифрування інформації(дзвінки,повідомлення,медіафайли,що передаються), яка за переконаннями авторів має високу стійкість і надійність. Тому очевидно, що дослідження і вдосконалення криптографічних інструментів захисту інформації є актуальне. Найбільш складна проблема для звичайного користувача – зрозуміти комплексну ефективність шифру, яка формується з його стійкості і простоти використання, продуктивності роботи при захисті інформації. Класична структура роботи зломщика шифрів – дослідження повторень в шифрованому тексті і дослідження статистичних характеристик частоти використання символів тексту.

В основу досліджень взяті блокові шифри, які базуються на матричних перетвореннях – множення квадратної матриці ключа на матрицю стовпчик відкритого тексту [1, 2]. Такі шифри довгий час вважались неперспективними, ручними і низькопродуктивними. З широким поширенням комп’ютерної техніки шифри на основі матричних перетворень отримали свою нішу і перспективу використання. Блокові шифри характеризуються (наприклад система шифрування мережа Фейстеля) такими параметрами: наявність властивостей перестановок, властивостей підстановок і статистичними характеристиками, які в деякій мірі наближаються до рівноймовірних.

Для перевірки якості методу шифрування можна використати тести NIST USA (The National Institute of Standards and Technology) . Кожний із NIST-тестів отримує на вхід скінченну бітову послідовність. Далі обчислюється статистика, що характеризує деяку властивість послідовності – це може бути і одиничне значення, і множина значень. Після чого ця статистика порівнюється із еталонною, яку дає ідеально випадкова послідовність. Еталонна статистика виводиться математично, цьому присвячено безліч теорем та наукових праць.

В основі тестів лежить поняття нульової гіпотези. За нульову гіпотезу приймається припущення ,що послідовність є істинно випадковою(знаки якої з’являються рівномірно та незалежно один від одного).Існує також альтернативна гіпотеза, яка спростовує нульову гіпотезу. Тобто, якщо нульова гіпотеза вірна, то генератор продукує достатньо «хороші» випадкові символи. Так, як ми маємо справу з гіпотезами, то існує 4 варіанти розвитку подій:

1.Зроблений висновок про те, що послідовність випадкова і це вірний висновок.

2.Зроблений висновок про те, що послідовність невипадкова, хоча вона насправді випадкова. Такі помилки називають помилками першого роду.

3.Послідовність визнана випадковою, хоча насправді такою не є. Такі помилки називаються помилками другого роду.

4.Послідовність справедливо відбракована.

Ймовірність помилки першого роду називають рівнем статистичної значимості і позначають α.Тобто α – це ймовірність відбракувати «хорошу» послідовність .Це значення визначається областю застосування. В криптографії прийнято α брати від 0.001 до 0.01.В кожному тесті визначається так зване P-значення: це ймовірність того ,що піддослідний генератор спродукує послідовність не гіршу, ніж гіпотетичний істинний. Якщо P-значення = 1 ,то послідовність ідеально випадкова, якщо воно = 0,то послідовність повністю передбачувана. В подальшому P-значення порівнюється з α,і якщо воно більше за α,то нульова гіпотеза приймається і послідовність визнається випадковою. В іншому випадку – відбраковується.

В NIST-тестах береться α = 0.01.З цього слідує:  
 - якщо P-значення >= 0.01,то послідовність визнається випадковою з рівнем довіри 99%

- якщо P-значення < 0.01,то послідовність відбраковується з рівнем довіри 99%.

# РОЗДІЛ 2.Блокові шифри

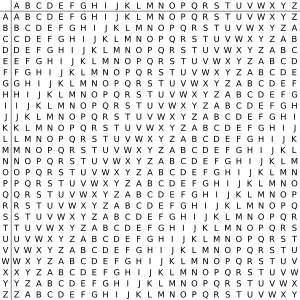
## 1.ШИФР ВІЖЕНЕРА

#### ***Опис***

Шифр Віженера – це метод шифрування повідомлень за допомогою серій різних шифрів Цезаря, з використанням ключового слова.

В шифрі Цезаря кожна літера алфавіту зміщується на декілька позицій. Наприклад, в шифрі Цезаря зі зміщенням рівним трьом ,А перетвориться в D,B в E і так далі. Шифр Віженера складається з декількох шифрів Цезаря з різними значеннями зміщення.

Для шифрування може бути використана tabula recta(квадрат Віженера).Він складається з алфавіту, записаного 26 разів в різних рядках так, що кожен алфавітний рядок циклічно зсунутий вліво, порівняно з попереднім рядком. В різних точках процесу шифрування, шифр використовує різні алфавітні рядки з квадрату. Алфавіт, що використовується в кожний момент часу залежить від повторюваного ключового слова.



Рис…..Квадрат Віженера

Наприклад, припустимо, що відкритий текст такий:

ATTACATDAWN

Особа, що надсилає повідомлення вибирає ключове слово і дублює його, доки воно не буде мати довжину рівну довжині відкритого тексту. Наприклад, для ключового слова «LEMON»:

LEMONLEMONLE

Кожен рядок починається з букви ключа. Решта рядка складається з літер від A до Z(у зміщеному порядку).З усіх 26-ти рядків буде використано стільки ключів(різних алфавітів),скільки є унікальних літер у ключовому слові .В прикладі лише 5 букв. Для послідовних літер у повідомленні ми будемо брати послідовно букви із ключового слова і шифрувати кожну літеру повідомлення, використовуючи відповідний рядок в квадраті Віженера.

Приклад:

|  |  |
| --- | --- |
| Відкритий текст: | ATTACKATDAWN |
| Ключове слово: | LEMONLEMONLE |
| Зашифрований текст: | LXFOPVEFRNHR |

Розшифрування проводиться таким чином: знаходимо в таблиці Віженера рядок, відповідний першому символу ключового слова; в цьому рядку знаходимо перший символ зашифрованого тексту. Стовпець, в якому знаходиться даний символ, відповідає першому символу початкового тексту. Наступні символи зашифрованого тексту розшифровуються за таким же принципом.

#### Математичне представлення

Це може бути представлено алгебрично. Якщо букви A-Z будуть представлені як номери 0-25,шифрування E , використовуючи ключ K, може бути записане:

а розшифровка D,використовуючи ключ K:

де M=M1…Mn – це повідомлення ,C=C1…Cn –це шифрований текст і K=K1…Kn – це ключ, одержаний повторенням ключового слова n/m разів, де m – довжина ключового слова.

Щоб зашифрувати літеру A=0 за допомогою букви ключового слова L=11 здійснюється таке обчислення:

*11=(0+11) mod 26*

Щоб розшифрувати літеру R=17 ,використовуючи букву E=4:

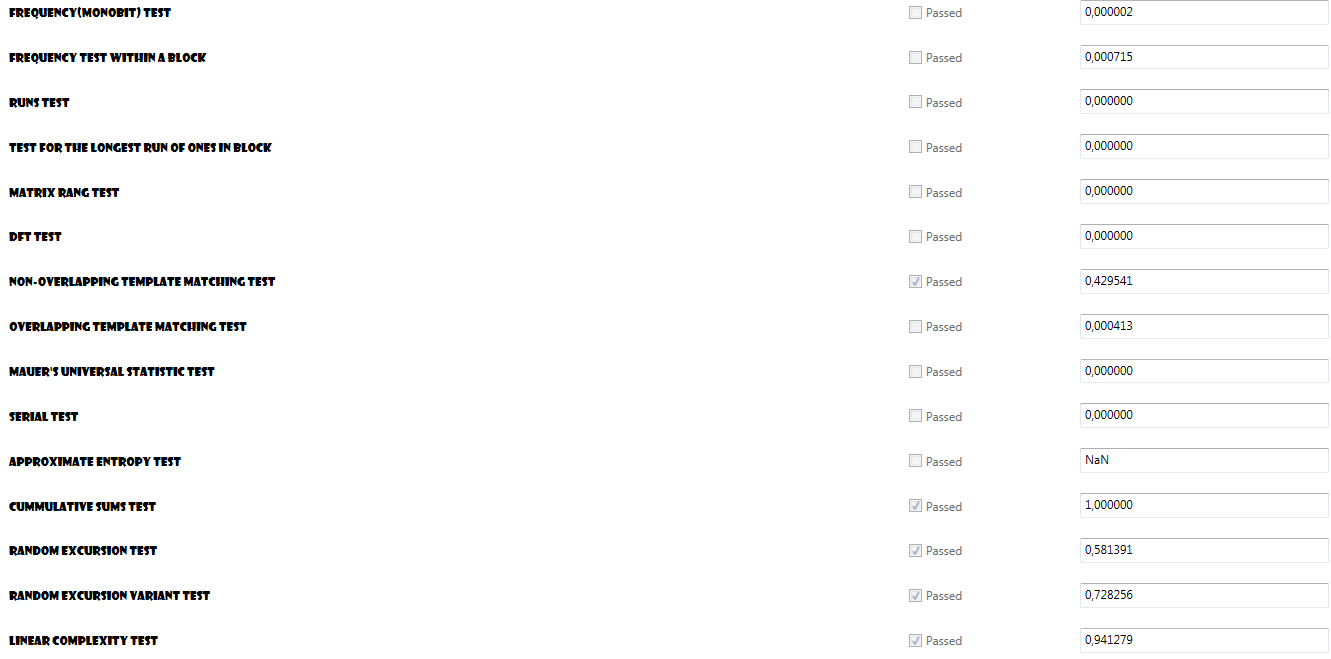
*13=(17-4) mod 26*

#### Переваги та недоліки

Ідея шифру Віженера, як і всіх поліалфавітних шифрів, полягає в тому, щоб розмити частотні характеристики символів у тексті, щоб неможливо було застосувати простий частотний аналіз. Проте деякі особливості появи символів у тексті залишаються.

Головна ж слабкість полягає у повторювальному характері ключа. Якщо криптоаналітик правильно вгадує довжину ключа, то зашифрований текст можна розглядати як комбінацію шифрів Цезаря, що легко ламається. Визначити довжину ключа можна за допомогою методів Касіскі та Фрідмана.

#### Результати NIST-тестування



Рис….Результати NIST-тестування шифру Віженера

Успішно пройдено 5 тестів, однак не пройдено перший, тому подальше тестування не було потрібне(вже після цього можна зробити висновок про те, що досліджувана послідовність навіть не близько до випадкової).

## 2.МЕРЕЖА ФЕЙСТЕЛЯ

#### Опис

Мережа Фейстеля - це симетрична структура, що використовується для побудови блокових шифрів. Мережа складається з комірок, що називаються комірки Фейстеля. На вхід кожній комірці надходять дані та ключ. На виході кожної комірки отримують змінені дані та змінений ключ. Всі комірки однотипні, а мережа представляє собою детерміновану структуру з багатократним повторенням. Ключ вибирається в залежності від алгоритму шифрування/розшифрування та змінюється при переході від однієї комірки до іншої. При шифруванні і розшифруванні виконуються одні і ті ж операції, відрізняється лише порядок ключів.

Інформація розбивається на блоки однакової(фіксованої) довжини. Отримані блоки називаються вхідними. У випадку, якщо довжина вхідного блоку менша, ніж розмір, який вибраний алгоритм шифрування здатен зашифрувати одночасно(розмір блоку).Як правило, довжина блоку є степенем двійки.

Шифрування одного блоку здійснюється так:

- вибраний блок ділиться на два підблоки однакового розміру – лівий(*L0*) та правий (*R0*)

- лівий підблок *L0* змінюється функцією *f* з використанням раундового ключа K0

*x=f(L0,K0)*

- результат складується по модулю 2(XOR) з правим підблоком *R0*

*x=x⊕R0*

- результат буде використаний в наступному раунді в ролі лівого підблоку *L1*

*L1=x*

- лівий підблок *L0* поточного раунду буде використаний в наступному раунді в якості правого *R0*

*R1=L0*

- згідно якогось математичного правила вираховується раундовий ключ *K1*, що буде використаний в наступному раунді

Перераховані вище операції виконуються *N-1* раз, де *N* – кількість раундів у вибраному алгоритмі шифрування. При цьому між переходами від одного раунду до іншого змінюються ключі:*K0* заміняється на *K1,K1* – на *K2* і т.д.

Розшифрування інформації відбувається там само, як і шифрування, за винятком того, що ключі ідуть у зворотному порядку.

#### Математичне представлення

Нехай:

* X – вхідний блок даних
* A - деяке інволютивне перетворення – взаємно-однозначне перетворення, що є оберненим до себе самого, тобто, для кожного X справедливим є вираз:

*AAX = A2X=X*

* Y – вихідний блок даних

При однократному застосуванні перетворення А до вхідного блоку Х отримуємо вихідний блок Y:

Y=AX.

При застосуванні перетворення *А* до результату попереднього перетворення – *Y* отримаємо :

*AY=AAX=X*

Нехай вхідний блок *Х* складається з двох підблоків *L* і *R* рівної довжини:

*X= (L, R)*

Визначимо два перетворення:

* *G(X,K)* – шифрування даних *Х* з ключем *К*:

*G(X,K)=G((L,R),K)=(L⊕F(K,R),R).*

* *T(L,R)* – перестановка підблоків *L* і *R*:

*T (L, R) =(R, L).*

Введемо позначення :

* Однократне застосування перетворення *G*:

*X`= (L`, R`) =GX;*

* Двократне застосування перетворення *G*:

*X``= (L``, R``) = G2X*.

Доведемо інволютивність двократного перетворення G(G2).Нескладно зауважити, що перетворення G міняє тільки лівий підблок L, залишаючи правий R без змін:

*L`=L⊕F(K,R);*

*R`=R.*

Тому далі будемо розглядати тільки підблок L .Після двократного застосування перетворення G до L отримаємо:

*L``=L`⊕F(K,R`)=L`⊕F(K,R)=L⊕F(K,R) ⊕F(K,R)=L.*

Таким чином:

*G2L=L;*

*G2R=R.*

Тому:

*G2X=X*

і *G* – інволюція.

Доведемо інволютивність двократного перетворення T(T2)

T2X=T2 (L, R) =T(R, L) = (L, R) =X.

Розглянемо процес шифрування. Нехай:

* *Х* – вхідне значення;
* *Gi* – перетворення за ключем *Ki*
* *Yi* – вихідне значення, результат i-го раунду.

Тоді перетворення, що виконується на *i+1* раунді можна записати у вигляді :

*Yi+1=TGiYi*

Перетворення, що виконується у першому раунді:

*Y1= TG1X.*

Тобто, вихідне значення після m раундів шифрування буде дорівнювати:

*Ym=TGmYm-1=TGmTGm-1…TG1X.*

Можна зауважити, що на останньому етапі не обов’язково виконувати перестановку *T*.

Розшифрування ведеться застосуванням всіх перетворень в зворотному порядку. Через інволютивність кожного із перетворень зворотній порядок дає початкове значення:

*X=G1TG2T…Gm-1TGmT(Ym)=G1TG2T…Gm-1T(Ym-1)=…G1T(Y1)=X*

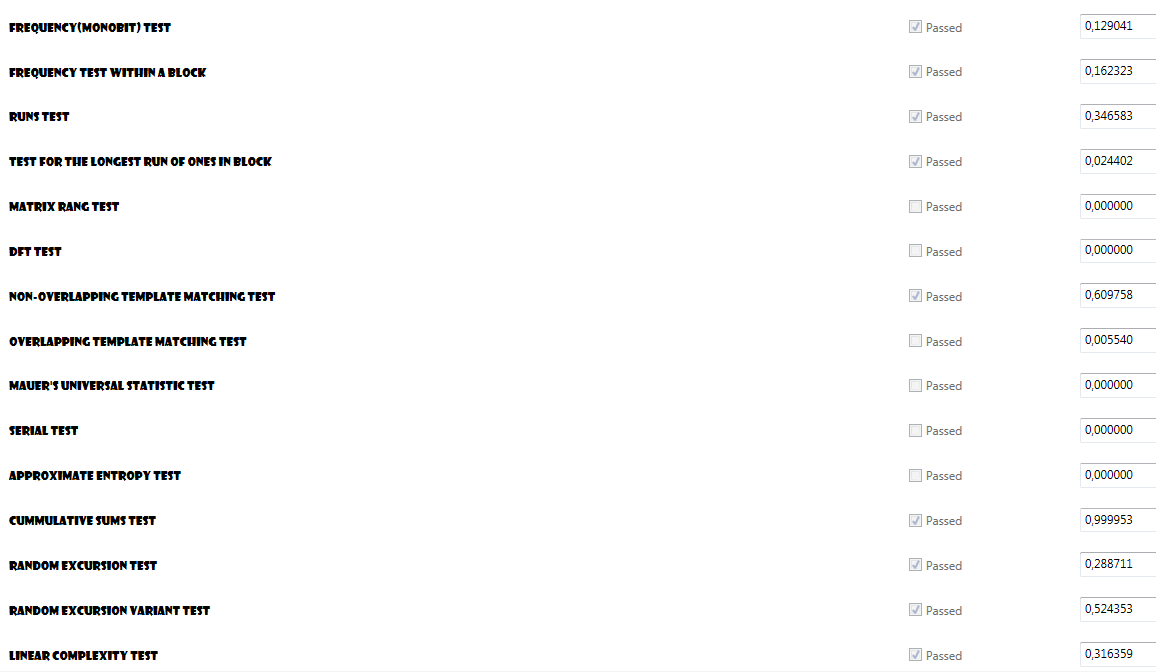
#### Переваги та недоліки

Мережа Фейстеля складається з певного фіксованого числа циклів, яке визначається з міркувань стійкості шифру, що розробляється. При цьому в останньому циклі переставляння місцями половин блоків даних не виконується, бо це не впливає на стійкість шифру. Така структура шифрів має низку переваг, а саме :

* процедури шифрування й розшифрування співпадають, лише базова інформація при розшифруванні використовується в зворотному порядку;
* при реалізації дешифрування можна використовувати ті ж блоки, що й при реалізації шифрування.

Недоліком мережі Фейстеля є те, що в кожному циклі змінюється лише половина блоку тексту, яка обробляється. Це приводить до необхідності збільшувати число циклів для досягнення бажаної стійкості.

#### Результати NIST-тестування



Рис….Результати NIST-тестування мережі Фейстеля

Успішно пройдено 9 тестів.

## 3.ШИФР ХІЛЛА

#### Опис

Шифр Хілла – це поліграмний шифр підстановок, що базується на лінійній алгебрі та модульній арифметиці. Це був перший шифр, що на практиці дозволив одночасно оперувати більш ніж з трьома символами. Шифр Хілла не знайшов практичного застосування в криптографії через слабку стійкість до злому.

Шифр Хілла є поліграмним шифром, який може використовувати великі блоки за допомогою лінійної алгебри. У поліграмних шифрах підстановки літери відкритого тексту замінюються не по одній, а групами. Перша перевага такого способу полягає в тому, що розподіл частот груп букв значно рівномірніший, ніж окремих символів. По-друге для продуктивного частотного аналізу потрібно більший розмір зашифрованого тексту.

Кожній букві алфавіту зіставляється число по модулю n, де n – довжина алфавіту. Для латинського алфавіту часто використовується найпростіша схема: A = 0, B = 1, ..., Z = 25, але це не є істотною властивістю шифру. Блок з m букв розглядається як m-мірний вектор і множиться на m × m матрицю по модулю 26. Якщо в якості основи модуля використовується число більше ніж 26, то можна використовувати іншу числову схему для зіставлення буквах чисел і додати прогалини і знаки пунктуації . Елементи матриці є ключем. Матриця повинна бути оборотна , щоб була можлива операція розшифрування.

Стандартна схема отримання інверсної матриці *К-1*:

1.Знаходимо детермінант матриці.

2.Знаходимо обернений до детермінанта по модулю *n* елемент(розширений алгоритм Евкліда)

3.Знаходимо матрицю мінорів для матриці-ключа шифрування.

4.Транспонуємо отриману матрицю.

5.Формуємо матрицю, отриману з остач від ділення елементів на *n*

6.Множимо отриману матрицю на обернений по модулю елемент

7. Формуємо інверсну матрицю, отриману з остач від ділення елементів на *n*

#### Математичне представлення

Для n=3 система може бути описана так

Або в матричній формі:

Чи :

*C=KP (mod 26)*

де *P* і *С* – вектори-стовпці висотою3,що представляють собою відкритий і зашифрований текст відповідно. *К* – матриця 3 х 3,що представляє собою ключ шифрування.

Шифрування: *C=E(K,P) = KP(mod 26)*

Розшифрування: *P=D(K,C)=K-1C(mod 26)*

#### Переваги та недоліки

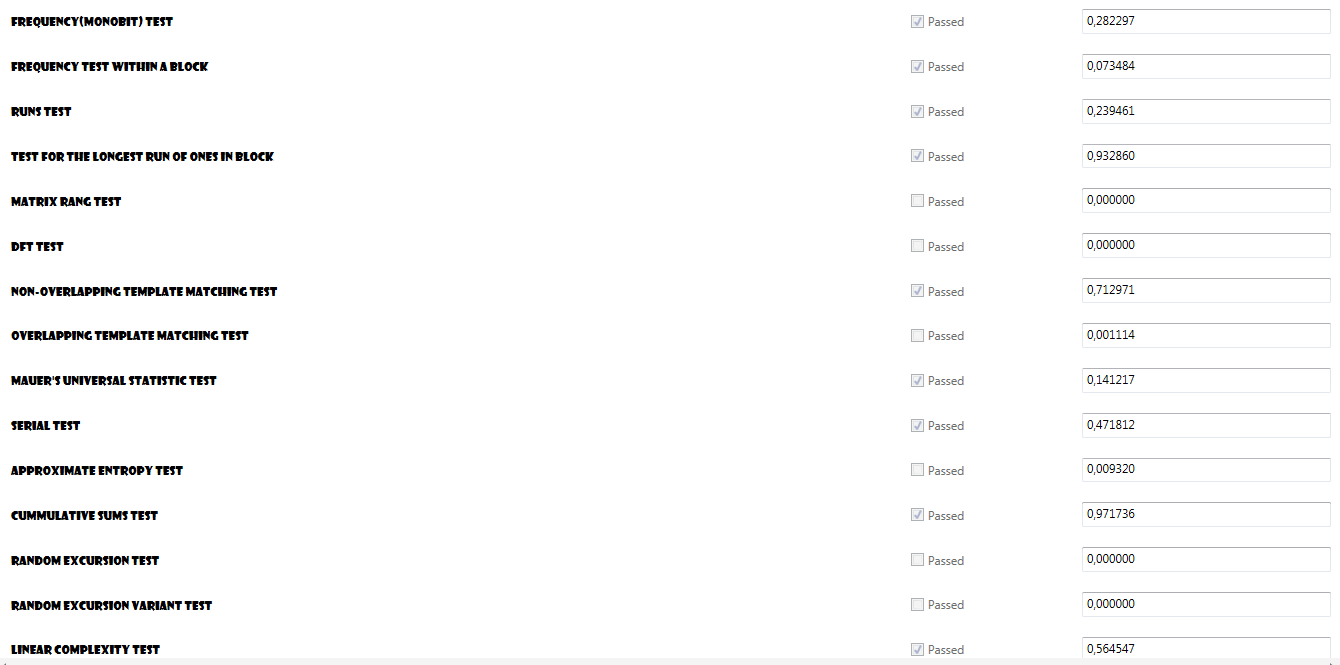
Переваги:

* розподіл частот груп букв значно рівномірніший, ніж окремих символів.
* для продуктивного частотного аналізу потрібен більший розмір зашифрованого тексту.

Недоліки:

* складність підбору матриці, для якої існує обернена
* вразливий до атаки по обраному відкритому тексту, оскільки повністю лінійний

#### Результати NIST-тестування



Рис….Результати NIST-тестування для шифра Хілла

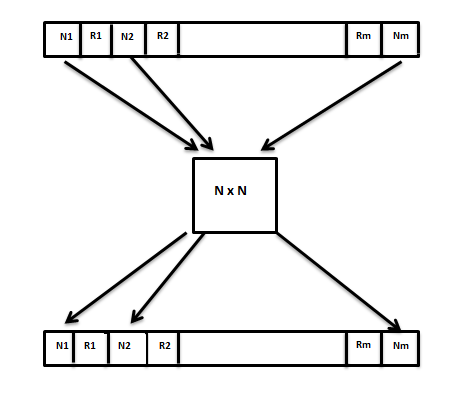
Успішно пройдено 9 тестів з 15-ти.

## 4.РОЗРОБКА ВЛАСНОГО ШИФРА

#### Опис

Головна ідея полягає, в тому, щоб розробити шифр, який буде достатньо надійним ,стійким та водночас простий у реалізації і такий, що не потребуватиме багато ресурсів.

За основу для проектування я обрав шифр Хілла саме через те, що серед блокових шифрів він один із найслабших та найпростіших. Я хочу довести, що при належному підході практично будь-який шифр можна зробити достатньо надійним.



Рис…Схема функціонування розробленого алгоритму

Блок *N x N* – матриця-ключ.*Ni* – підблок повідомлення розміром *N*(подається на обробку), *Ri* – підблок повідомлення рандомної довжини(не подається на обробку) .Повідомлення розбивається на множину підблоків *N* та *R*(в такій послідовності). Далі підблоки *N* передаються на обробку, а довжини підблоків *R*(що кожного разу рандомно генеруються на заданому інтервалі) почергово записуються у масив. Результуюче повідомлення – це спотворений певним чином масив довжин підблоків, що не оброблялися та оброблені підблоки *N* і необроблені *R*.Процес повторюється декілька разів(бажано хоча б двічі).

#### Приклад роботи шифру

Матриця ключ:

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 12 | 0 | 7 | 4 |
| 17 | 14 | 21 | 18 |
| 10 | 24 | 0 | 13 |
| 3 | 17 | 8 | 24 |

Шифруємо текст : «MAHEROVSKYANDRIY» =

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 12 | 0 | 7 | 4 | 17 | 14 | 21 | 18 | 10 | 24 | 0 | 13 | 3 | 17 | 8 | 24 |

Результат першого етапу шифрування:

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 17 | 39 | 44 | 60 | **17** | **14** | **21** | 0 | 54 | 36 | 32 | **13** | **3** | 28 | 29 | 60 | 43 |

Групи виділених символів – це підблоки рандомної довжини, що не обробляються. Таких блоків у даному прикладі два: довжиною в 3 символи та в 2 символи.

Результат другого етапу шифрування:

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 2 | 33 | 22 | 17 | 39 | 44 | 60 | 17 | 14 | 21 | 0 | 54 | 36 | 32 | 13 | 3 | 28 | 29 | 60 | 43 |

Зашифрований текст: «C1WR7]=ROVA(40ND,;=[ »

Перший символ *n* означає кількість рандомних блоків, що не піддаються обробці. Наступних n символів означають довжини послідовних необроблюваних блоків(спотворені певним чином – у даному випадку вибиралися такі числа, щоб поділивши на максимальне можливе значення довжини рандомного блоку, можна було отримати справжні довжини підблоків).

Процес повторюється певну визначену кількість разів(бажано хоча б двічі). На кожному раунді бажано використовувати іншу матрицю-ключ.

Розшифровуємо текст : «C1WR7]=ROVA(40ND,;=[ » =

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 2 | 33 | 22 | 17 | 39 | 44 | 60 | 17 | 14 | 21 | 0 | 54 | 36 | 32 | 13 | 3 | 28 | 29 | 60 | 43 |

Результат першого етапу розшифрування:

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 17 | 39 | 44 | 60 | **17** | **14** | **21** | 0 | 54 | 36 | 32 | **13** | **3** | 28 | 29 | 60 | 43 |

Результат другого етапу розшифрування:

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 12 | 0 | 7 | 4 | 17 | 14 | 21 | 18 | 10 | 24 | 0 | 13 | 3 | 17 | 8 | 24 |

Розшифрований текст : «MAHEROVSKYANDRIY»

#### Переваги та недоліки

Шифр зберігає переваги стандартного шифру Хілла:

- шифр розмиває частотні характеристики тексту;

- для продуктивного криптоаналізу потрібен текст більший, ніж для неблокових шифрів.

Водночас володіє деякими оригінальними:

- результати виконання шифрування однакових даних за однаковими ключами відмінні(криптоаналітику буде надзвичайно важко виявити якусь систему, закономірність, залежність в шифрі) .Відмінними навіть будуть довжини шифрованого тексту.

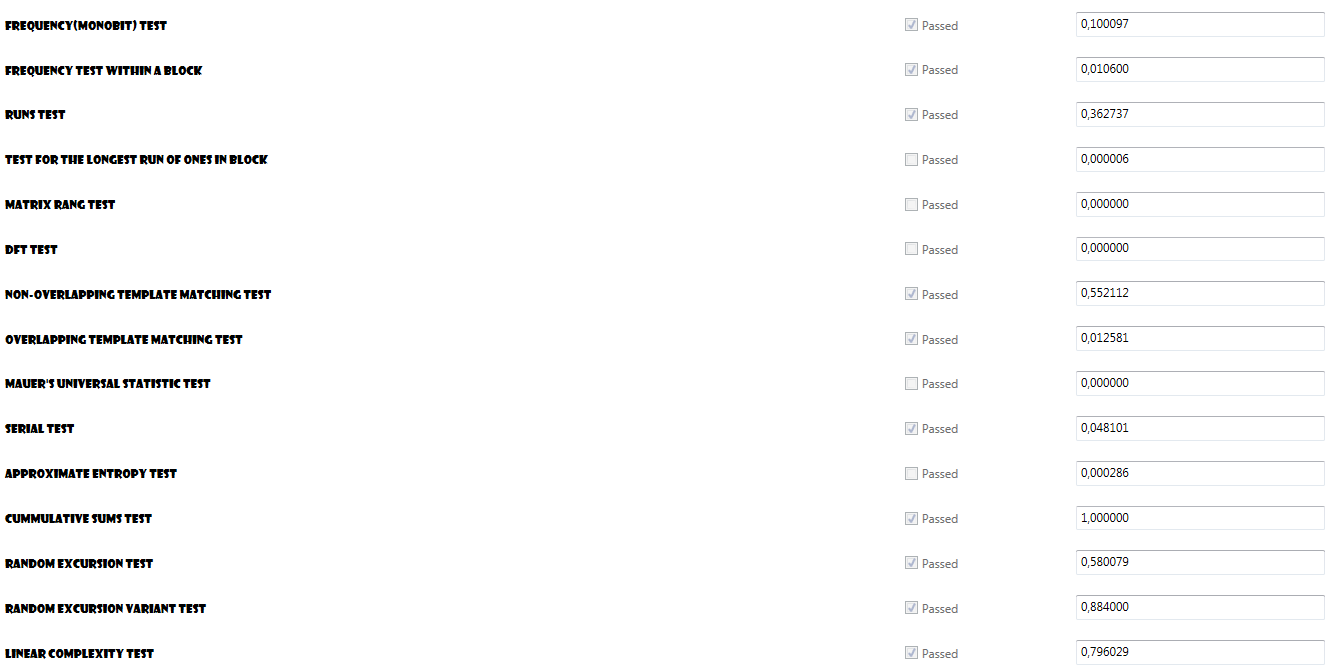
- методи для злому шифра Хілла не працюють з даним шифром. Навіть повний перебір ключів не дасть потрібного результату ,оскільки шифрується лише частина повідомлення. Тобто застосовуючи ключ для розшифрування будуть спотворюватися необроблені блоки.

- наявність в шифрованому тексті не лише безпосередніх результатів шифрування відкритого тексту, що створює хибне враження про частотні характеристики тексту та його довжину.

Недоліки:

важкість знаходження в якості ключа матриць, для яких можливо обчислити обернені.

#### Результати NIST-тестування



Рис….Результати NIST тестування.

Успішно пройдено 10 тестів з 15-ти.

# РОЗДІЛ 3.КРИПТОГРАФІЧНІ ХЕШ-ФУНКЦІЇ

## ХЕШ-ФУНКЦІЇ.ХЕШУВАННЯ

Хешування - перетворення вхідного масиву даних довільної довжини в вихідний бітову рядок фіксованої довжини, за певним алгоритмом. Таке перетворення також називається хеш-функція ( функція згортки), а його результат - хеш, хеш-код, хеш-сума ( зведення повідомлення).

Застосування хешування:

- Побудова асоціативних масивів;

- Пошук дублікатів в серіях наборів даних;

- Побудова досить унікальних ідентифікаторів для наборів даних;

- Контрольне підсумовування даних - для подальшого виявлення в них помилок (випадкових або навмисних), що виникають при зберіганні і (або) передачі сигналу;

- Зберігання паролів в системах захисту (в хешованому вигляді, - для відновлення з якого потрібна обробка функцією, яка є «зворотною» по відношенню до використаної хеш-функції);

- При виробленні електронного підпису (на практиці, - часто, - підписується не саме повідомлення, а його хеш-образ).

У загальному випадку (принцип Діріхле) - немає однозначної відповідності між вихідними даними і хеш-кодом, тому що значення хеш-функцій менш різноманітні, ніж значення вхідного масиву: різний зміст може дати однаковий хеш-код - що може привести до так званої колізії. Імовірність виникнення колізій грає важливу роль в оцінці якості хеш-функцій.

Як відомо, криптографічні хеш-суми відрізняються від звичайних хеш-сум тим, що крім основних властивостей, що вимагаються від будь-якої хеш-функції:

- здатності перетворення вхідного значення (зазвичай тексту) довільної довжини в вихідне значення фіксованої довжини,

- статистичної рівномірності випадаючих вихідних значень,

- хорошим «розкидом» (розбіжністю приблизно в половині біт) вихідних значень навіть для текстів, різниця між якими дуже незначна (можливо тільки в 1 біті);

до криптографічних хеш-алгоритмів пред'являються додаткові вимоги:

- розрядність вихідних значень повинна знаходитися далеко за межами можливостей повного перебору на сучасній техніці як за швидкістю обробки, так і за обсягом зберігання (на практиці це - розрядність в 128, 160, 256 і більше біт);

- не повинно існувати способу (істотно більш ефективного, ніж повний перебір вхідних значень) обчислити будь-яку пару вхідних текстів, що дають на виході однакове хеш-значення (неважливо яке) - успішна атака на цю вимогу називається «колізією» хеш-функції;

- не повинно існувати способу (істотно більш ефективного, ніж повний перебір вхідних значень) за значенням хеш-функції підібрати будь-який вхідний текст, що дає на виході алгоритму це хеш-значення - успішна атака на цю вимогу називається «оборотністю» хеш-функції.

Три перерахованих вище вимоги до крипостійкості хеш-функцій перетворюють їх за фактом в ідентифікатори фіксованої довжини для текстів, файлів і взагалі довільних блоків інформації. При цьому ці ідентифікатори:

- унікальні на всьому просторі сучасного інформаційного суспільства;

- незворотні, тобто не розкривають абсолютно нічого про зміст вихідного документа.

Це дозволяє використовувати хеш-функції в задачах:

- Перевірки цілісності файлів, архівів, збірок тощо (Досить довіреністю передати одержувачу хеш-суму файлу і тоді будь-які несанкціоновані зміни в файлі негайно змінять його контрольну хеш-суму);

- Зберігання паролів у незворотному вигляді (в сховище поміщаються не самі паролі, а хеш-суми від рядка, наприклад, виду «константа (соль)» + «пароль», що дозволяє при розкритті хешу зберегти власне словникову парольну фразу в секреті);

- Електронно-цифрового підпису документів (власне ЕЦП встановлюється завжди не на сам файл, що по-перше, було б дуже повільно, і по-друге, несло б деякі проблеми з безпекою самого ключа підпису, а на його хеш-суму, забезпечуючи такий ж рівень захисту від модифікацій).

На сьогоднішній день переважну частку застосувань хеш-функцій «беруть на себе» алгоритми MD5, SHA-1, SHA-256. Звичайно, існує і безліч інших менш відомих, або поширених тільки у вузьких співтовариствах алгоритмів (наприклад, RIPEMD, TIGER, PANAMA і ін.)

У криптографії сіль – це випадкова послідовність, що використовується в якості додаткових вхідних даних для хешування. Основна функція солі –захист від атак проти списку вихідних паролів за допомогою райдужних таблиць чи одного проходу повного перебору.

Нова сіль генерується випадковим чином для кожного пароля. У загальному випадку, сіль і пароль з’єднуються та обробляються за допомогою криптографічної хеш-функції ,і результуюча вихідна послідовність(але не оригінальний пароль) зберігається разом із сіллю в базі даних. Криптографічні солі широко використовуються в багатьох сучасних комп’ютерних системах від системи облікових даних Unix до інтернет-безпеки.

Райдужні таблиці представляють собою застосування більш раннього і простішого алгоритму Мартіна Хеллмана. Райдужна таблиця – це попередньо обчислена таблиця для реверсу криптографічної хеш-функції ,як правило ,для злому хеш-паролів. Таблиці здебільшого використовують для відновлення оригінального паролю певної довжини, що складається з обмеженого набору символів. Це практичний приклад time-memory tradeoff - розумного компромісу між часом пошуку по таблиці і займаною пам'яттю (використовується менше часу для комп’ютерної обробки інформації і більше пам’яті, ніж при brute-force атаці, але більше часу обробки і менше пам’яті, ніж при використанні таблиць пошуку).Використання ключа ,виведеного функцією з використанням солі робить такий вид атаки практично нездійсненним.

У криптографії, лавинний ефект відноситься до бажаної властивості криптографічних алгоритмів, зазвичай блокових шифрів та криптографічних хеш-функцій. Лавинний ефект очевидний у випадку, коли трохи змінена вхідна послідовність (наприклад, перевернутий один біт) спричиняє суттєві зміни вихідного сигналу (наприклад, половина вихідних біт обернулися). У випадку високоякісних блокових шифрів, така невелика зміна в будь-якому ключі або відкритому тексту повинна викликати різку зміну шифротексту. Сам термін був вперше використаний Хорстом Фейстелем , хоча концепція бере початок принаймні у дифузії Шеннона.

Якщо блокові шифри або криптографічна хеш-функція не проявляє лавинний ефект в значній мірі, то він має погану рандомізацію, і, таким чином, криптоаналітик може робити припущення про вхідний текст, якщо буде мати тільки вихідний. Це може бути достатньо, щоб частково або повністю зламати алгоритм. Таким чином, лавинний ефект є бажаною умовою з точки зору конструктора криптографічного алгоритму або пристрою.

При побудові шифру або хеш-функції значний прояв лавинного ефекту є однією з цілей первинного проектування. Це дозволяє невеликим змінам швидко поширюватися через ітерації алгоритму, таким чином, що кожен біт на виході повинен залежати від кожного біта входу до зупинки алгоритму

Криптографічна хеш-функція - будь-яка хеш-функція, яка є крипостійкою, тобто задовольняє ряд вимог, специфічних для криптографічних додатків.

Більшість криптографічних хеш-функцій приймають на виході рядок будь-якої довжини ,а на виході дають хеш-значення фіксованої довжини. Криптографічна хеш-функція повинна бути здатною витримувати всі відомі типи криптоаналітичних атак. Як мінімум вона мусить мати наступні властивості:

* Стійкість до відновлення прообразу(Для даного хеш-значення h має бути складно знайти повідомлення m,таке ,що h=hash(m).Це поняття пов’язане з поняттям односторонньої функції. Функції, які не володіють цією властивістю можуть вразливі до атак відновлення прообразу. Слід зауважити, що на даний момент немає використовуваних хеш-функцій з доведеною односпрямованістю. )
* Стійкість до відновлення другого прообразу(Для даного вхідного значення m1 має бути неможливо обчислювально знайти відмінне значення m2 таке, щоб hash(m1)==hash(m2).Функції, що не володіють цією рисою є вразливими до атаки відновлення другого прообразу )
* Стійкість до колізій(Повинно бути неможливо обчислювально знайти два відмінних повідомлення m1 і m2 таких, щоб hash(m1)=hash(m2).Така пара називається криптографічною хеш-колізією. Ця властивість іноді називають сильна колізійна стійкість. Вона вимагає, що хеш-значення має бути хоча б у 2 рази довше, ніж вимагає стійкість до повного перебору ; в іншому випадку колізії можуть бути знайдені за допомогою атаки «днів народження». Атака «днів народження» - вид криптографічної атаки, що використовує парадокс днів народження для злому шифрів чи пошуку колізій хеш-функцій. Зазвичай саме знаходження способу побудови колізій криптоаналітиками служить першим сигналом старіння алгоритму і необхідності його швидкої заміни.)

Дані вимоги не є незалежними:

- Оборотна функція нестійка до відновлення другого прообразу і колізій.

- Функція, нестійка до відновлення другого прообразу, нестійка до колізій; зворотні твердження невірні.

Слід зазначити, що досі ще не доведене існування незворотних хеш-функцій, для яких обчислення будь-якого прообразу заданого значення хеш-функції теоретично неможливо. Зазвичай знаходження зворотного значення є лише обчислювально складним завданням.

Наявність цих властивостей означає, що зловмисний противник не зможе замінити чи модифікувати вхідні дані без зміни хеш-значення. Тому, якщо два повідомлення мають однаковий хеш-код , то з високим ступенем вірогідності можна стверджувати, що вони ідентичні.

Функції, що відповідають цим критеріям все ж можуть мати інші небажані властивості. На теперішній час популярні хеш-функції можуть бути вразливими до атак довжини-розширення(коли дано значення hash(m) та довжина len(m),вибираючи підходящі m` зловмисник може обчислити hash(m || m`),де || означає конкатенацію ).Ця слабкість може бути використана для злому наївних схем автентифікації на основі хеш-функцій.

В ідеалі можна побажати ще сильніших умов. Для противника має бути неможливо знайти два повідомлення з істотно схожими значеннями хеш-коду; або вивести яку-небудь корисну інформацію про дані, з огляду лише на їх хеш-значення. Тому криптографічна хеш-функція повинна поводитися ,наскільки це можливо, як рандомна функція, зберігаючи при цьому детермінованість та ефективність обчислення.

Алгоритми контрольних сум, такі як CRC32 та інші циклічні перевірки надмірності призначенні для задоволення набагато слабших вимог і ,як правило, непридатні в якості криптографічних хеш-функцій. Наприклад CRC був використаний для перевірки цілісності повідомлень в стандарті шифрування WEP,але легко був відкритий тип атак, що використовував лінійність контрольних сум проти цього стандарту.

# РОЗДІЛ 3.РОЗРОБКА СИСТЕМИ

Буде розроблено такі елементи системи захисту інформації :система автентифікації та система для формування/перевірки електронного цифрового підпису. Вони будуть базуватися на самостійно розроблених на основі блокових шифрів криптографічної функції та шифру.

**Автентифікація** — процедура встановлення належності користувачеві інформації в системі пред'явленого ним [ідентифікатора](https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%86%D0%B4%D0%B5%D0%BD%D1%82%D0%B8%D1%84%D1%96%D0%BA%D0%B0%D1%82%D0%BE%D1%80).

***Принцип роботи системи автентифікації***

В більшості випадків паролі не зберігаються на цільових об’єктах, а зберігається лише їх хеш-код. Зберігати парольні фрази недоцільно, тому що у випадку несанкціонованого доступу до файлу з фразами, зловмисник дістане інформацію про всі паролі та зможе ними скористатися , а при збереженні хеш-коду він здобуде лише цей код, який не може бути перетворений у вхідні дані, в даному випадку в парольну фразу. Під час процедур автентифікації обчислюється хеш-значення введеної парольної фрази і порівнюється із збереженим.

Прикладом в даному випадку служать ОС Linux та Windows.В них зберігаються лише хеш-значення парольних фраз із облікових записів користувачів.

Така система має на увазі передачу повідомлення по захищеному каналу, тобто по каналу, із якого криптоаналітик не може перехопити повідомлення чи послати своє. В іншому випадку він зможе перехопити пароль та використовувати його для подальшої нелегальної автентифікації. Захищатися від подібних атак можна за допомогою методу «виклик-відповідь». Цей метод я буду використовувати при розробці системи автентифікації.

***Приклад роботи системи автентифікації***

Нехай деякий користувач з іменем NAME проводить автентифікацію по парольній фразі,PASS .У базі даних зберігається значення розробленої криптографічної хеш-функції HASH(PASS,S),де S - сіль(псевдовипадкова послідовність визначеної довжини).Клієнт посилає запит(NAME,R),де R – псевдовипадкова послідовність певної довжини. У відповідь з бази даних отримується значення S.Користувач вираховує значення хеш-функції HASH(R,HASH(PASS,S)) і посилає на обробку. Обробник також обчислює значення HASH(R,HASH(PASS,S)) та порівнює його з отриманим. Якщо значення співпадають – автентифікація вірна.

При такому способі пароль не зберігається відкрито в базі даних і ,навіть перехопивши всі повідомлення між користувачем та обробником, криптоаналітик не в змозі відновити значення паролю ,а хеш-значення, що передається, кожен раз інше.

**Електронний цифровий підпис (ЕЦП)** — вид електронного підпису, отриманого за результатом криптографічного перетворення набору електронних даних, який додається до цього набору або логічно з ним поєднується і дає змогу підтвердити його цілісність та ідентифікувати підписувача. Електронний цифровий підпис накладається за допомогою особистого(секретного) ключа та перевіряється за допомогою відкритого ключа.

Варто зауважити один дуже важливий аспект: електронний цифровий підпис не існує в готовому вигляді ніколи. Він не існує у вигляді файлу чи чого-небудь ще. Електронний цифровий підпис насправді з’являється, створюється тільки в той момент часу, коли документ підписується секретним закритим ключем. Тобто, документ не підписується електронним цифровим підписом. Це в корені неправильний вираз. Документ підписується тільки закритим ключом, а не електронним цифровим підписом тільки після підписання секретним ключем ,тільки в цей момент часу створюється електронний цифровий підпис. Загальний механізм створення такий :береться будь-який документ, будь-якої довжини, розраховується його контрольна сума(хеш значення),і це значення шифрується закритим ключом. У підсумку, отриманий шифрований рядок і є електронним цифровий підписом.

***Принцип роботи системи створення/перевірки електронного цифрового підпису***

*Створення ЕЦП*

Для документа за допомогою спеціального комп’ютерного забезпечення вираховується ,так званий, дайджест повідомлення. В даному випадку це хеш-значення(може бути контрольною сумою тощо).

Дайджест характеризується такими властивостями:

1.Фіксована,чітко визначена довжина, що не залежить від розміру повідомлення

2.Відбиток повідомлення(дайджест) є унікальним для кожного повідомлення

3.По дайджесту неможливо відновити повідомлення

Таким чином, якщо документ був модифікований, то зміниться і його відбиток, що відобразиться при перевірці електронного цифрового підпису.

Далі за допомогою розробленого алгоритму шифрування відбиток документу кодується закритим ключем. Отриманий електронний цифровий підпис передається окремо разом із документом.

Розшифрувати електронний цифровий підпис і отримати початковий дайджест повідомлення можна тільки використовуючи відкритий ключ автора.

Тобто, обчислення дайджеста документа захищає його від модифікації сторонніми особами після підписання, а шифрування секретним особистим ключем підтверджує авторство документу.

*Перевірка справжності підписаного документа*

Перевірка електронного цифрового підпису документа здійснюється в три етапи:

1.Перший етап. Адресат, використовуючи необхідне програмне забезпечення та відкритий ключ автора, розшифровує підписує відбиток і отримує дайджест початкового документа.

2.Другий етап. За допомогою відповідної програми та спеціальної математичної функції з отриманого документа обчислюється його дайджест.

3.Третій етап. При перевірці електронного цифрового підпису порівнюються дайджести одержаного та початкового документів. В результаті перевірки ми можемо зробити висновок про справжність документа.

Розробка криптографічної функції

Шифрувальний алгоритм вибраний на основі шифру Хілла.

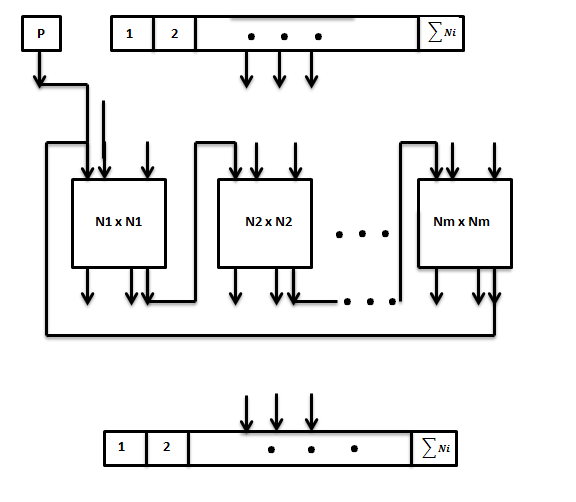


Рис.1.Схема функціонування алгоритму

Блок Ni x Ni - одна з матриць-ключів.P – символ ,що подається на вхід незалежно від даних. Вхідний блок повідомлення доповнюється до потрібної довжини ∑Ni-m (якщо потрібно).Далі він дробиться на підблоки довжиною Ni -1 і подається на обробку. Відбувається множення рядка(перший символ – так званий ,вхідний, решта – відповідний підблок) на відповідну матрицю-ключ з масиву матриць. На виході отримуємо рядок(останній символ – вихідний, решта результуючий підблок).Як можна побачити із рисунку ….. ,окремо ми подаємо лише перший вхідний символ, а далі вхідний символ підблоку – це вихідний символ попереднього підблоку.З вихідних рядків беремо результуючі підблоки та даємо їх на вихід алгоритму(або на наступне коло обробки).Кількість циклів обробки попередньо вказуємо.

Оскільки криптографічна хеш-функція повинна продукувати значення сталого розміру, необхідно застосовувати стиснення. Стиснення відбувається за дещо спрощеною схемою Міагучі-Пренеля:

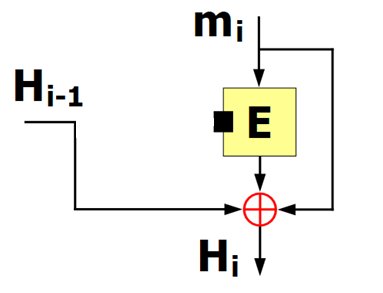


Рис.1.Спрощена схема Міагучі-Пренеля

Одностороння функція стиснення Міагучі-Пренеля (The Miyaguchi-Preneel single-block-length one-way compression function) є розширеним варіантом аналогічної функції Matyas-Meyer-Oseas. Це була функція, незалежно запропонована Бартом Пренелем і Сьодзо Міагучі.

Функція подає кожен блок вихідного повідомлення (mi) в якості тексту, який буде зашифрований. Далі виконується операція XOR зашифрованого тексту з тим же блоком вхідного повідомлення (mi), а потім також операція XOR з попереднім значенням хеш-функції (Hi-1) для отримання наступного значення хешу (Hi).

Попереднє значення хеш-функції (Hi-1) подають як ключ для блочного шифру. У першому раунді, коли немає попереднього значення хеш, він використовує постійне заздалегідь обумовлений початкове значення (H0).

Якщо блоковий шифр має різні розміри блоку і ключа, тоді значення хеш-функції (Hi-1) буде мати неправильний розмір для використання в якості ключа. Хеш-функція подається на функцію g () для перетворення, щоб відповідати як ключ для шифрування.

Дана схема не призначення для ключів блоків. Слідуючи їй було б потрібно кожного проходу використовувати функцію, що перетворювала б ключ-рядок в ключ-множину матриць. Це спричиняє зайві труднощі та витрати ,тому в моєму варіанті ключ залишається незмінним та є множиною матриць різних розмірів.

Математично це може бути представлено так:

Перевірка якості розробленої криптографічної хеш-функції

1.Стійкість для відновлення образів.

Довжина одного блоку хеш-коду – 32 , символів, доступних для формування послідовності – 64.Тобто,можливих значень – 6432 ≈ 6.3 \*1057.Припустимо,що можна перебирати значення зі швидкістю 1012 штук за секунду. Тоді для повного перебору даної кількості значень буде необхідно 6.3\*1045секунд = 175\*1040 годин = 20\*1037 років. Оскільки алгоритм новий, досі ще не існує ефективніших способів, ніж повний перебір для знаходження потрібного значення. Тобто хеш-функція досить добре протистоїть атакам відновлення образів.

2.Стійкість до колізій.

Найпоширеніша атака проти цієї властивості – атака днів народження. Одним із наслідків парадоксу днів народження є те, що для n-бітового блокового шифру повторювані появи блоку шифротексту можуть очікуватися з вірогідністю близько 0,63 при наявності лише 2n/2 випадкових відкритих текстів, зашифрованих на одному ключі (незалежно від розміру ключа).Тобто, щоб з високою ймовірністю можна було знайти колізії, необхідно перебрати 2n/2 варіантів. У даному випадку n =192,тому потрібно перебрати 286 можливих комбінацій ≈7.7 \*1025. Припустимо, що можна перебирати значення зі швидкістю 1012 штук за секунду. Тоді для повного перебору даної кількості значень буде необхідно 7.7\*1013секунд = 213\*108 годин = 24\*105 років. Тобто хеш-функція досить добре протистоїть колізійним атакам.

3.Лавинний ефект.

Результати виконання хешування даних, що мінімально відрізняються одне від одного.

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Вхідне значення | Хеш-значення | К-ть змінених бітів |
| MAHEROVSKYA | #<$\_P$.2G!XZ\_Q>YGCD=1[MY,PD0I3}U | 0 із 192 |
| MAHEROVSKYB | "|!Z<U1Z1N$ST H"05N]%-6J;$AE[]LS | 101 із 192 |
| MAHEROVSKYC | })N\*3)7Q=.LL94UG>IX,DRA>-T\_8O\*8Q | 85 із 192 |
| MAHEROVSKYD | {(.RN {HX95E!}1;U[1MUE ['\*>M$?FO | 103 із 192 |
| MAHEROVSKYE | ]\*9{)\_^?%)!\_V|}&}O[=5)&,0X)#UH2M | 68 із 192 |
| MAHEROVSKYF | [&)J10<\*NFZ([C+LI$\*](@ON1<&U)Q!K | 102 із 192 |
| MAHEROVSKYG | @^F5LD!]8T^"BMI22U!,H;8?2.$| Z,I | 92 із 192 |
| MAHEROVSKYH | 9%TB\*6F3D1N8XWV<=)JMYQC"3\_},\_2<G | 106 із 192 |
| MAHEROVSKYI | 8$1;'JL -"71{02QW T=9D,04'[A0[WE | 52 із 192 |
| MAHEROVSKYJ | 7#"<J]RR<\_B D@"7#\_;]>((R5B84D&^C | 108 із 192 |
| MAHEROVSKYK | 6"\_V^PXIUL.TZ&=?K07,L9QC635I6\_QA | 86 із 192 |
| MAHEROVSKYL | 5}L$;%;!"Z\*M"?JV4D$M,,@^7F2]JG{? | 92 із 192 |
| MAHEROVSKYM | 4{ZNHV3(K7PFFIW]?6+={PE487'Q]PK= | 72 із 192 |
| MAHEROVSKYN | 3]79$|9{5\*9?.S3DYJF]?C-V9J,&PY7> | 100 із 192 |
| MAHEROVSKYO | 2[\*F.."4ADD)$,# %]P,P\*|G@[ZY%1E| | 85 із 192 |
| MAHEROVSKYP | 1@D1F?\*..R;#H6\_$MPZM08S)[NW=V@1( | 98 із 192 |
| MAHEROVSKYQ | 09R\_"1+S(')9;#KI6%3=$.]8]"T0|^?& | 38 із 192 |
| MAHEROVSKYR | '8'ZZEBJR{R2^>X'AV{]COGZ{RQE.=.% | 100 із 192 |
| MAHEROVSKYS | -7{\*D7HA]+[.JE4( |),TB0K}^N8?F|# | 89 із 192 |
| MAHEROVSKYT | ;6+R{KN)HJFU'O$N&.BM4&>+"VKM1OV} | 100 із 192 |
| MAHEROVSKYU | ,5J{X{T}2X'N\*Y?4O?L=\*7U]#)H#EX%] | 66 із 192 |
| MAHEROVSKYV | .4XJBQZ5\_5<GL2L+81V]G };$ZEU70P@ | 102 із 192 |
| MAHEROVSKYW | 355[^',Y^T!1]YSCE',XNIO%+B|K9]8 | 76 із 192 |
| MAHEROVSKYX | Z2^BVW5T^B{|)(59,79M8A2!^;?,{%J6 | 108 із 192 |
| MAHEROVSKYY | Y1B;!<[KOPH$NA%A(K^=<^=#&!+AQ+64 | 54 із 192 |
| MAHEROVSKYZ | X0P<9,$B9;1@3K!XQ{\_]K6W1\*1|4^ED2 | 112 із 192 |
| MAHEROVSKY | W';VT!)|E[+3<UM}@QH,.Z#S(D\*IWN00 | 88 із 192 |
| MAHEROVSKY. | V-[$\_2\_"'<V,P-ZFE^RM]MKD)5%]<W\_- | 90 із 192 |
| MAHEROVSKY, | U;<N7FD6>H"V586,-W.=\_!4&|H"Q,' , | 70 із 192 |
| MAHEROVSKY; | T,H9R8J;VVJO+%^^|<5]O%?5<9]&!8) | 108 із 192 |
| MAHEROVSKY- | S.VF+LPU#33HR=AKS,",'5YW>L9Y2$UY | 92 із 192 |
| MAHEROVSKY' | R 315}VLL$\_A7GN1]!<M#Y%H+{6=F>$W | 105 із 192 |
| MAHEROVSKY0 | QZ$\_PR.C6!X<\_Q |G2D=BLM|=P308DOU | 17 із 192 |
| MAHEROVSKY1 | PY!Z<&1<BN$%T 7P0FN]S?69\_$0ELM[S | 100 із 192 |
| MAHEROVSKY2 | OXN\*3X7#,.L[94&6>8X,3$A ?T;8}VIQ | 88 із 192 |
| MAHEROVSKY3 | NW.RN>{7)954!}B\_UL1M&4 L!\* MR-5O | 102 із 192 |
| MAHEROVSKY4 | MV9{);^-S)!;V|OU}}[=FX&=AXX#&7CM | 73 із 192 |
| MAHEROVSKY5 | LU)J1A<V{FZW[C.[IR\*]WKO{B<UUX#'K | 107 із 192 |
| MAHEROVSKY6 | KTF5L3!MIT^PBM8C2&!,7\_8-C.R|><=I | 85 із 192 |
| MAHEROVSKY7 | JSTB\*GFD31NIXW\*Z=XJM|#CPD\_O,;CZG | 103 із 192 |
| MAHEROVSKY8 | IR1;'9L>?"7B{0C#W>T=J3,AE'LAAL(E | 51 із 192 |
| MAHEROVSKY9 | HQ"<JMR$Z\_B>D@PH#;;] W($FBI43UTC | 113 із 192 |
| MAHEROVSKY@ | GP\_V^"X8&L.^Z&,-KA7,[JQ2G3FIG;#A | 85 із 192 |
| MAHEROVSKY[ | FOL$;S;'PZ\*]"?9\*43$M==@THFC]96N? | 93 із 192 |
| MAHEROVSKY] | ENZNH\*3W@7P5FI(M?G+=N"EEI7!QM"@= | 69 із 192 |
| MAHEROVSKY{ | DM79$Y9NF\*9-.SD3Y9F]-2-\*JJ=&"|H> | 107 із 192 |
| MAHEROVSKY} | CL\*F.+"E0DDX$,Q>%MP,"V|6K[<YSB4| | 88 із 192 |
| MAHEROVSKY" | BKD1F-\*++R;QH6;RM"ZMAISXLN(=\*KB( | 105 із 192 |
| MAHEROVSKY# | AJR\_"B+%W')J;#@86S3=R+]IM"^0YT-& | 37 із 192 |
| MAHEROVSKY$ | !I'ZZ4B9${RC^>)!A\*{]2}G<NR#E+,+% | 99 із 192 |
| MAHEROVSKY% | ?H{\*DHH0M+[+JEEW Y),^10@O^{8-5Y# | 86 із 192 |
| MAHEROVSKY^ | \_G+R{@NX7JF&'OR{&+BMEU>.PV@MB}\*} | 103 із 192 |
| MAHEROVSKY& | =FJ{XNTOCX'{\*Y-EO-L=VHUMQ)7#4)S] | 69 із 192 |
| MAHEROVSKY\* | +EXJB#ZF;5<6L2[.8BV]6>}\_RZ4UHA"@ | 97 із 192 |
| MAHEROVSKY( | >D55[T'=|^T'1]|%C4',){I}S+1|@JM8 | 79 із 192 |
| MAHEROVSKY) | <C^BV(5^TB{Y)(FJ,H9MI02'T;-,NS96 | 99 із 192 |
| MAHEROVSKY| | |BB;!Z[@}PHRNAS0(@^=ZT=QU!.A#.G4 | 59 із 192 |
| MAHEROVSKY< | )AP<9=$1J;1K3K')QN\_]@GWBV1Y4T432 | 103 із 192 |
| MAHEROVSKY> | (!;VT')Y4[+D<U]O@#H,+<#%WDVI({A0 | 85 із 192 |
| MAHEROVSKY+ | \*?[$\_C\_P!<V=P-<5ETRMM]K3X5S]Z(;- | 89 із 192 |
| MAHEROVSKY= | &\_<N75DG H"\*58G=-(.=;'4UYHPQ=!>, | 69 із 192 |
| MAHEROVSKY\_ | ^=H9RIJ\_\*VJ}+%TT|Z5]}S?FZ9M&'IX | 105 із 192 |
| MAHEROVSKY? | %+VF+[P&Q337R=0@S=",!FY( LJYCR&Y | 87 із 192 |
| MAHEROVSKY! | $>315OV[[$\_07G{B]'<MQ|%7.{G=5 RW | 104 із 192 |

Табл.1.Результати виконання хешування

Як видно з наведеної вище таблиці, внаслідок зміни одного біта у вхідній послідовності були спричинені значні зміни у вихідній. Тобто дана хеш-функція явно демонструє лавинний ефект.

4.Рівномірність розподілу частот.



Рис.1.Частотний розподіл символів у тексті, шифрованому хеш-функцією.

Для даного аналізу було використано шифрувальний алгоритм хеш-функції без стиснення(щоб можна було оцінити частотні характеристики результатів)

Визначимо середнє інтегральне відхилення за допомогою формули 3.1.

Середнє інтегральне відхилення дорівнює 12.52 % (для порівняння – стандартний метод Хілла дає відхилення близько 30%).По рис.1. можна побачити, що частотний розподіл символів достатньо близький до рівномірного, водночас процес хешування не вимагає значних ресурсів для виконання.

# Список Літератури

# А. П. Алферов, Основы криптографии. Брюс Шнайер, Прикладная криптография.