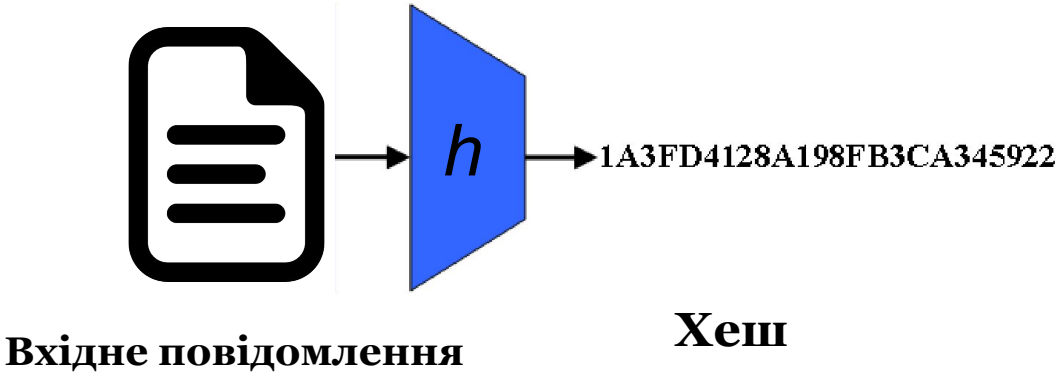
Криптографічні хеш-функції на основі клітинних автоматів

доц. Танасюк Ю.В.

Константинюк Олексій
Мельничук Христина
Петро Бурдейний
Валеріан Гульпак

Криптографічні хеш-функції

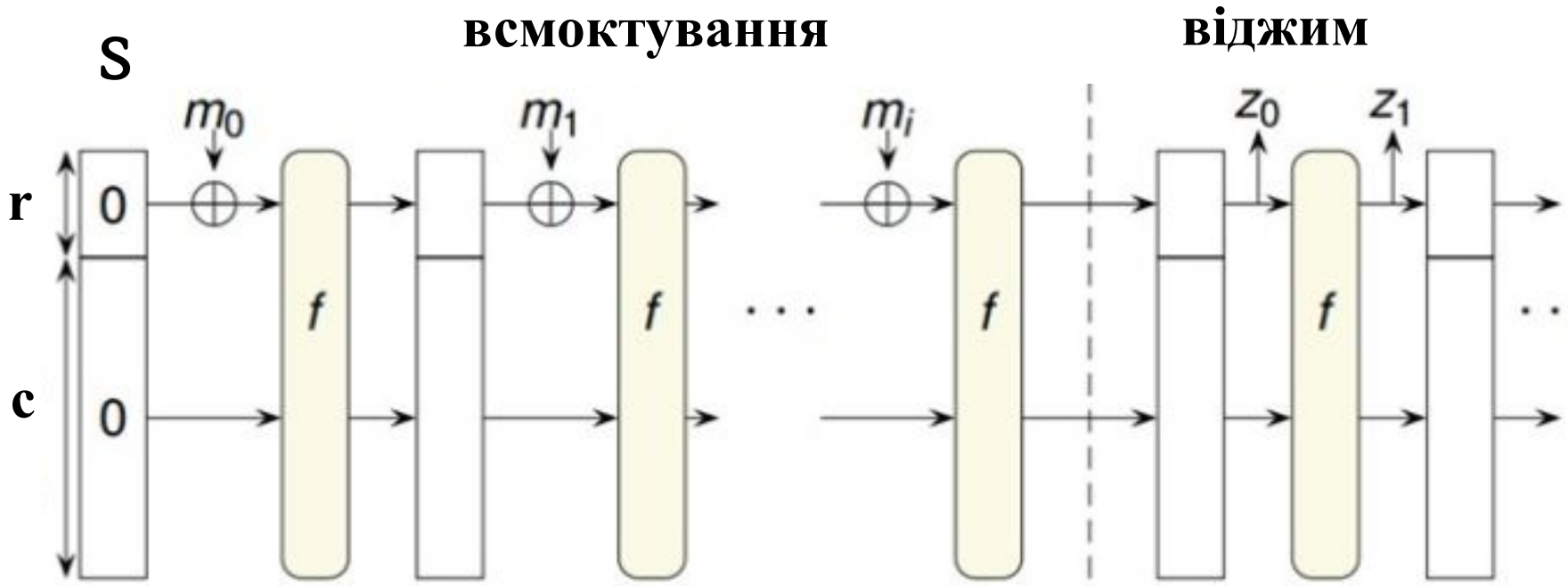


- MD5: n = 128 (Ron Rivest, 1992)
- SHA-1: n = 160 (NSA, NIST, 1995)
- SHA-2: n → {224, 256, 384, 512} (NSA, NIST, 2001)

Алгоритм Кессак

- Переможець конкурсу NIST серед алгоритмів криптографічних хеш-функцій у 2012 р. (www.nist.gov/itl/csd/sha-100212.cfm).
- Новий стандарт хешування SHA-3 (2015).
- Змінна довжина дайджесту: 224, 256, 384 та 512 бітів.
- Програмна й апаратна реалізація.
- Базується на конструкції губки та псевдовипадкових перетвореннях.

Конструкція губки

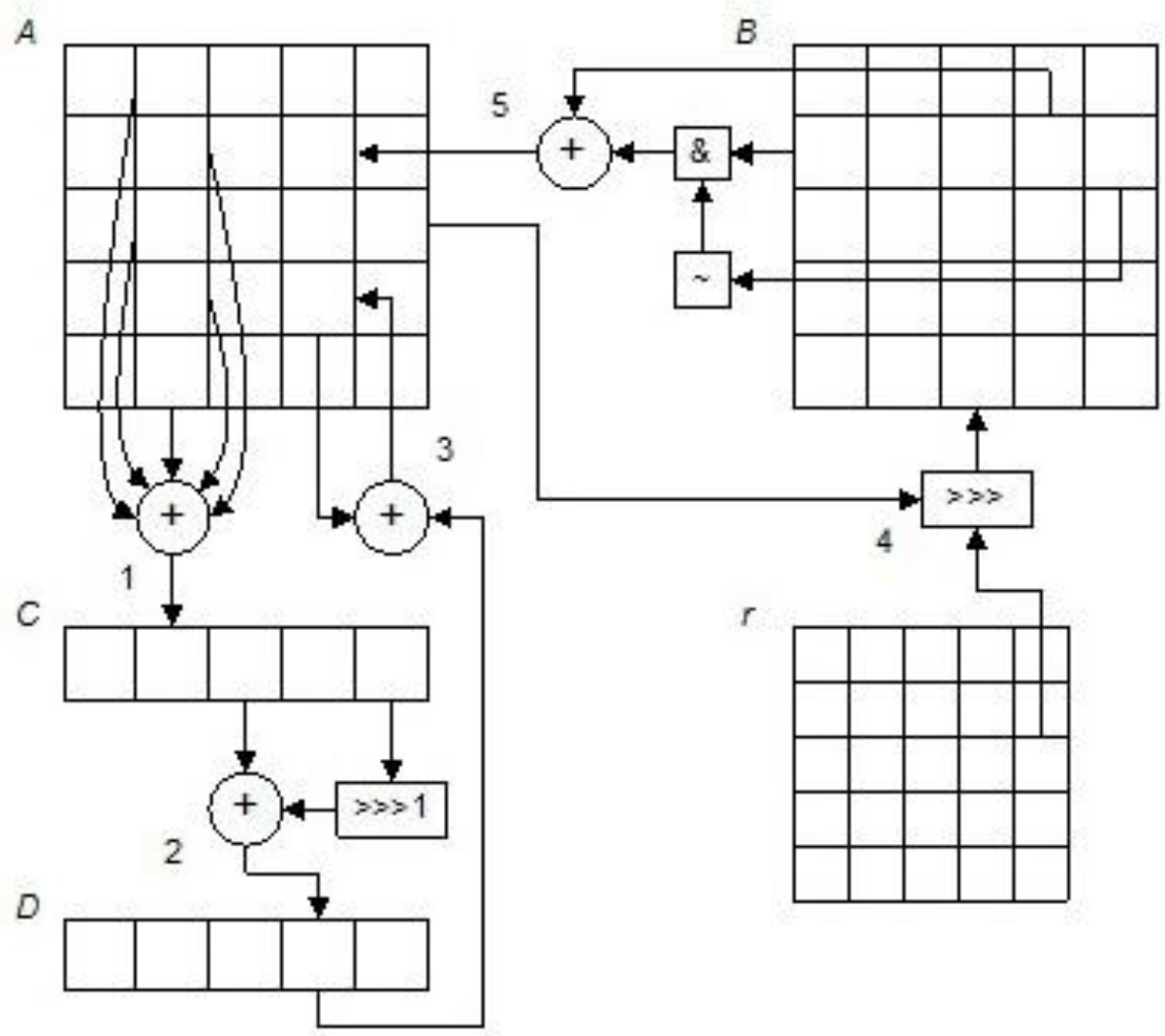


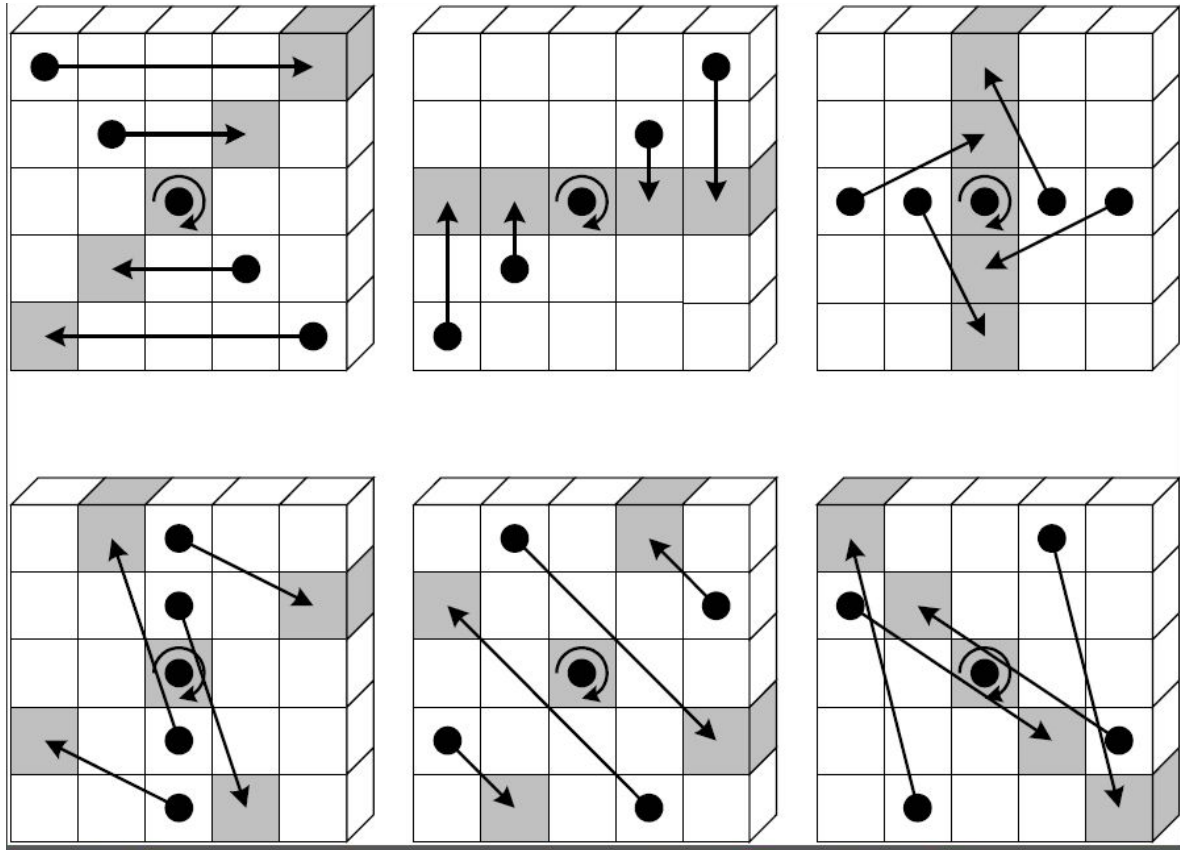
- Інтерактивна конструкція для реалізації псевдовипадкових перестановок за допомогою низки розроблених функцій **f**.
- **S** — внутрішній стан фіксованої довжини **b** (бітів).
- **b = r + c**, де **r** – бітова швидкість, **c** — потужність.

Параметри хеш-функції Кессак

- Стандарт SHA-3 використовує стан губки довжиною **1600 бітів**.

Довжина хешу, Z (біти)	Бітова швидкість, r (біти)	Потужність, c (біти)	Рівень захисту, N (біти)
224	1152	448	112
256	1088	512	128
384	832	768	192
512	576	1024	256





Схематичне зображення процедури перестановки Keccak-f стану губки

http:/n/keccak.noekeon.org/

Постановка задачі

- Стан губки – одно-, дво- та тривимірні клітинні автомати (КА).
- Функція перемішування – комбінація правил обробки КА.
- Застосовуються на обох стадіях всмоктування та віджиму.
- Змінна кількість раундів обробки.
- Параметри та довжина хешу відповідають алгоритму Keccak.
- Тестування NIST STS та лавинний ефект.

Клітинні автомати (КА)

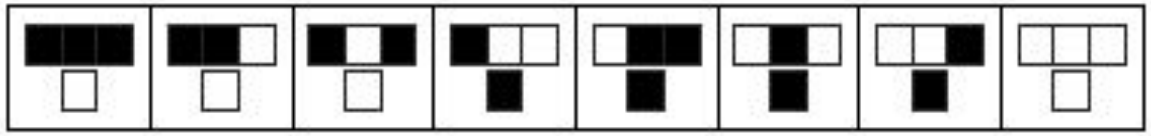
- Самоорганізована статистична система клітин, кожна з яких може перебувати в одному з двох станів 0 або 1
- Розвивається за визначеним правилом, наприклад:

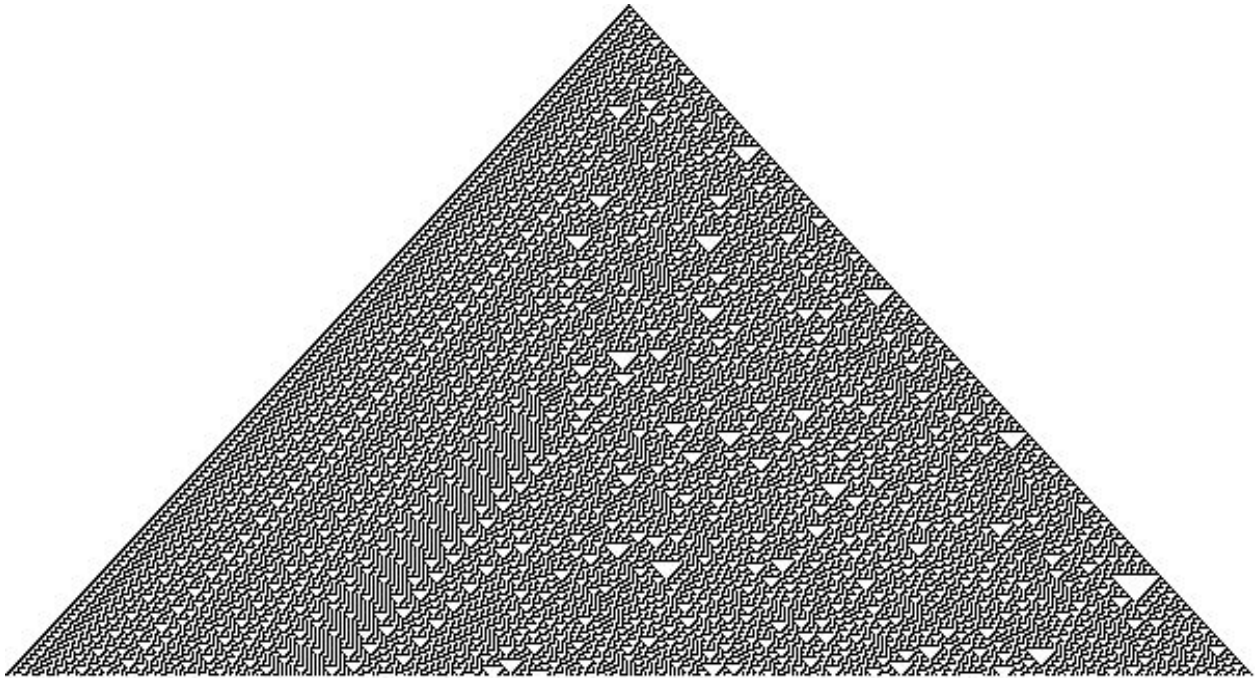
- правило 30: $C[i]' = C[i-1] \oplus (C[i] \vee C[i+1])$ (1)
- правило 54: $C[i]'=(C[i-1] \vee C[i+1]) \oplus C[i]$ (2)
- правило 86: $C[i]' = (C[i-1] \vee C[i]) \oplus C[i+1]$ (3)
- правило 150: $C[i]' = C[i-1] \oplus C[i] \oplus C[i+1]$ (4)
- правило 158: $C[i]'=C[i-1] \oplus C[i] \oplus C[i+1] \vee C[i] \wedge C[i+1]$ (5)

де $C[i]$ – поточна клітина, $C[i]'$ - оновлене значення поточної клітини після застосування правила, $C[i-1]$, $C[i+1]$ – попередня і наступна сусідні клітини, та $\oplus$, $\wedge$, $\vee$ - бітові операції XOR, AND, та OR, відповідно.

Клітинні автомати (КА): правило 30

$$C[i]' = C[i-1] \oplus (C[i] \vee C[i+1])$$





Одновимірні клітинні автомати (КА)

Для оптимізації обробки вектору стану губки RC довжиною 1600 бітів на кожному раунді створювалися два його вектори:

a2’=a1 XOR (a2 OR a3) – правило №30(1)

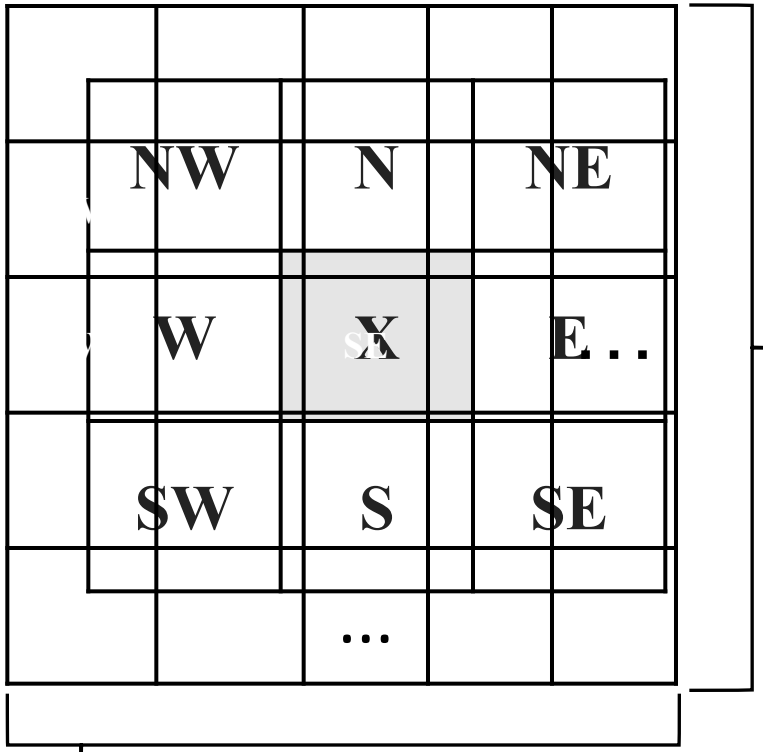
a1≡a[i-1]	0 1 0 1 1 0 0 1	RC>>>1
XOR		
a2≡ a[i]	1 0 1 1 0 0 1 0	
OR		
a3≡a[i+1]	0 1 1 0 0 1 0 1	RC<<<1
Результат:	1 0 1 0 1 1 1 0	

1600 бітів

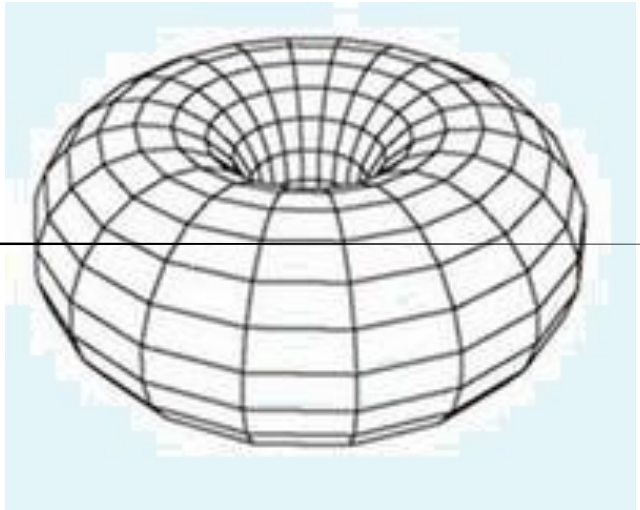
Збільшення швидкості обробки у 60 разів

Двовимірні КА

- 25 рядків довжиною 64 біти, загальний розмір - 1600 бітів
- Локальний окіл Мура: 8 суміжних клітин
- Крайні клітини замикаються в тор.



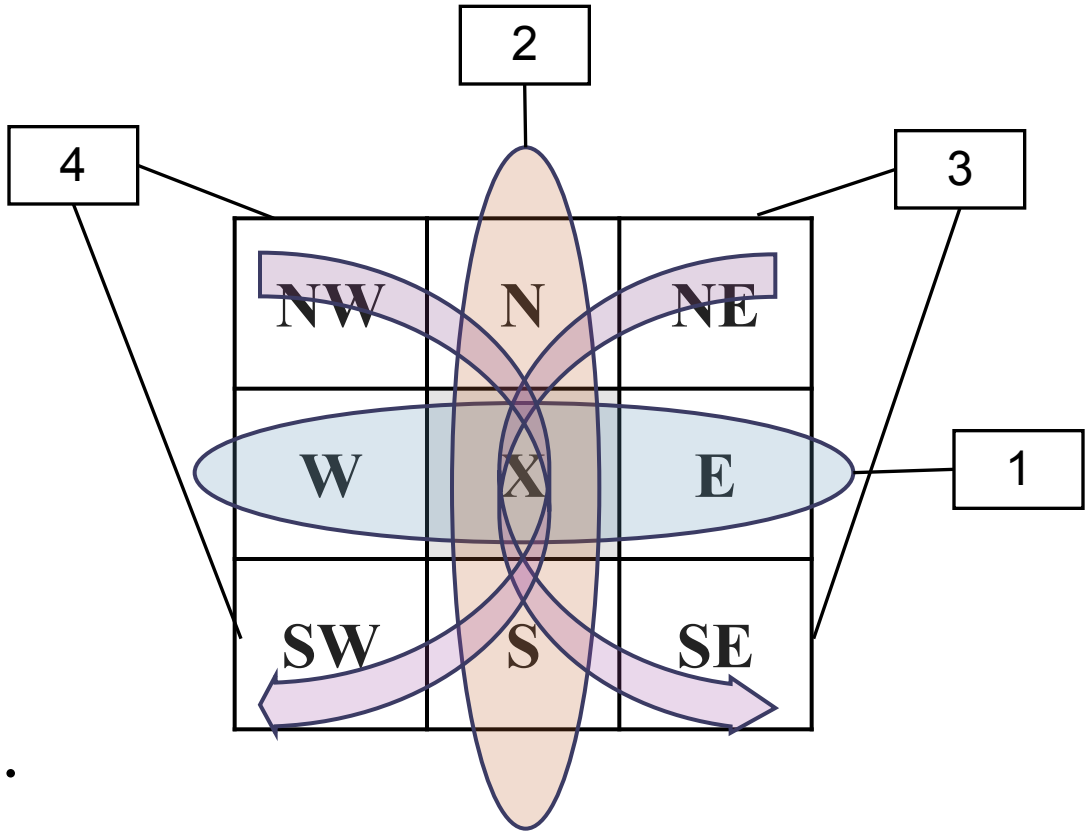
25



64 біти

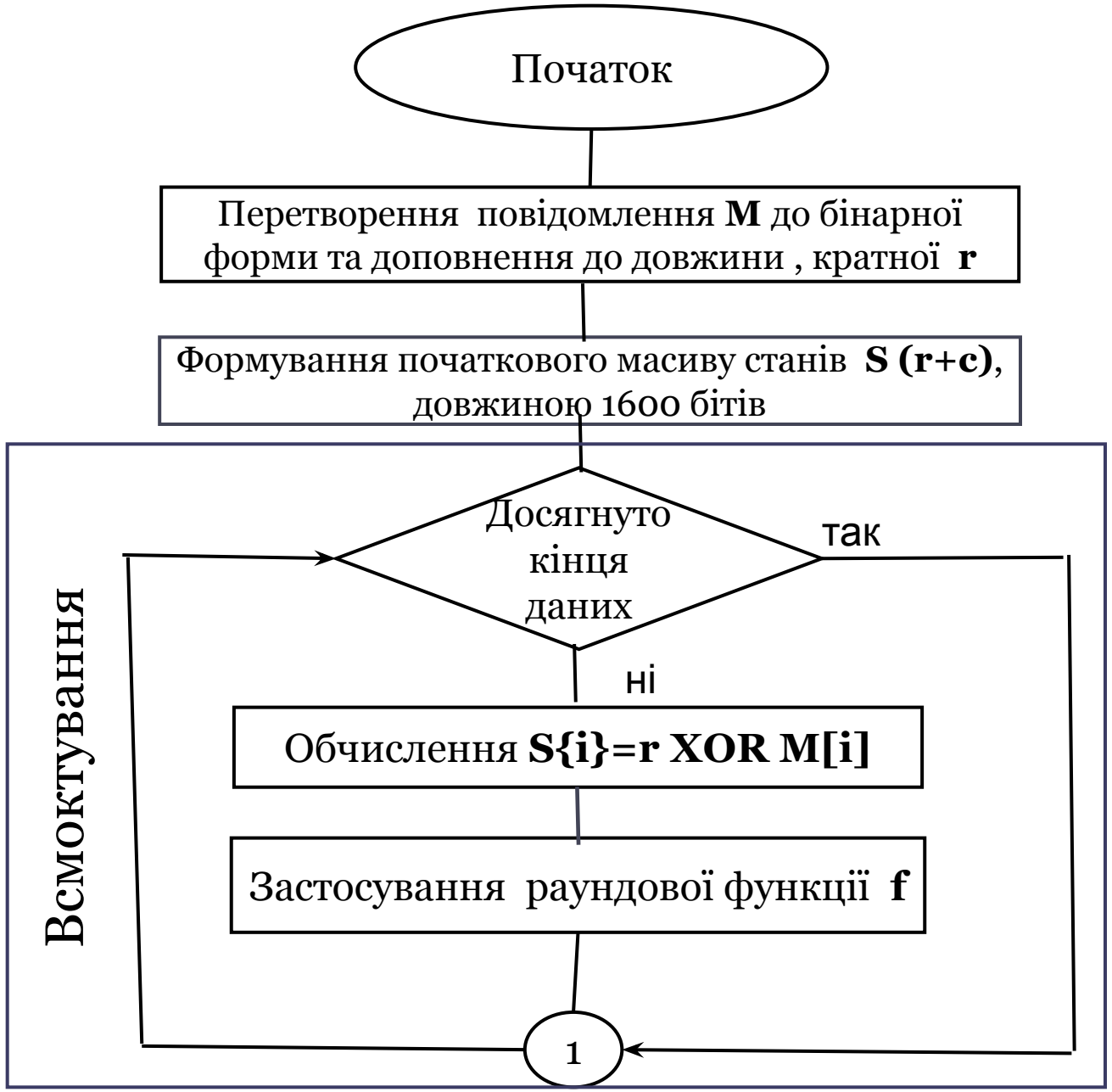
Схема взаємодії

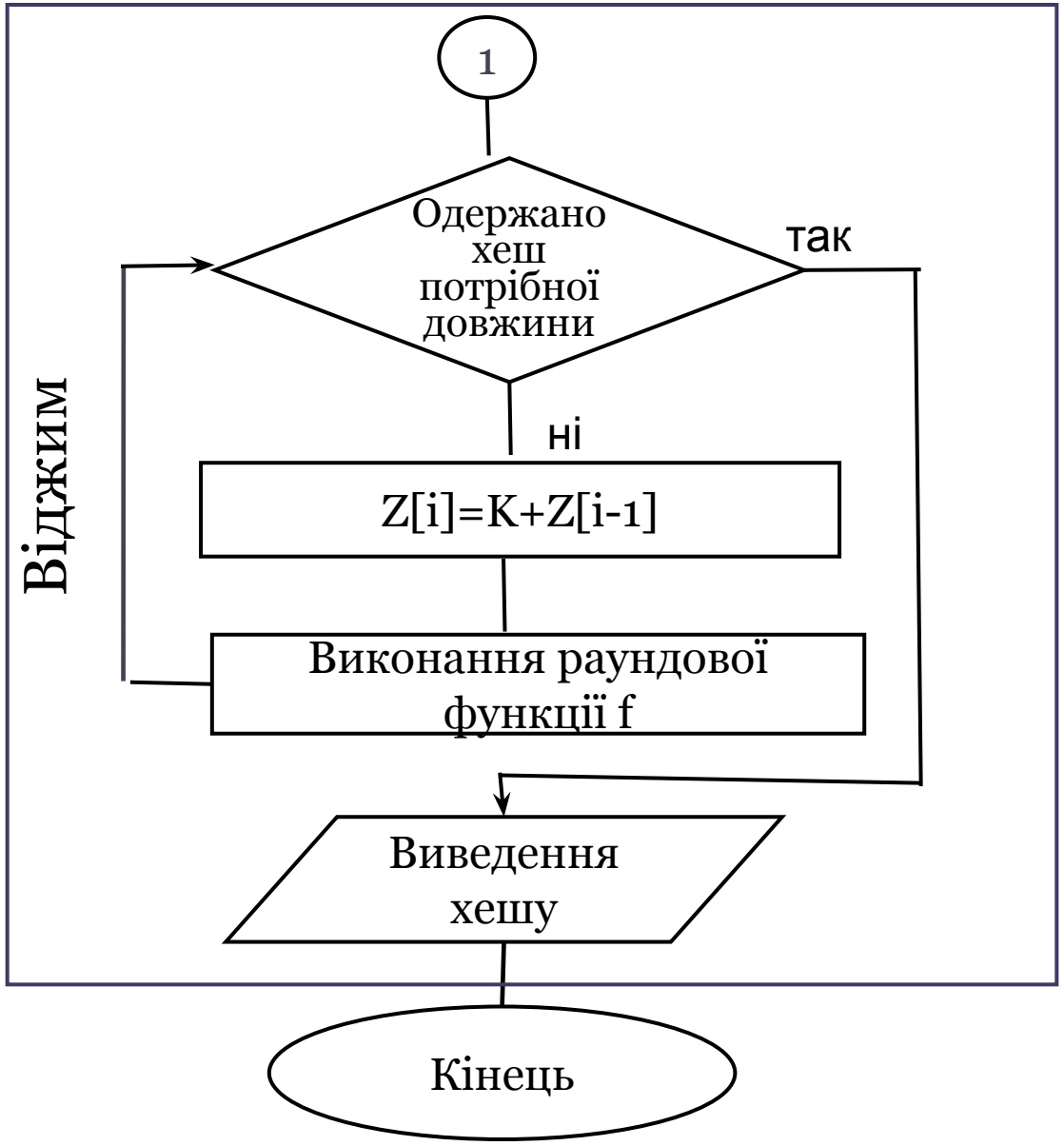
- 4 способи взаємодії
- N,W, NW, NE – попередні клітини
- S, E, SW, SE – наступні.
- Гібридні клітинні автомати
- Поєднання лінійних (150) та нелінійних (30, 54, 86, 158) правил.



Різновиди функцій перестановки

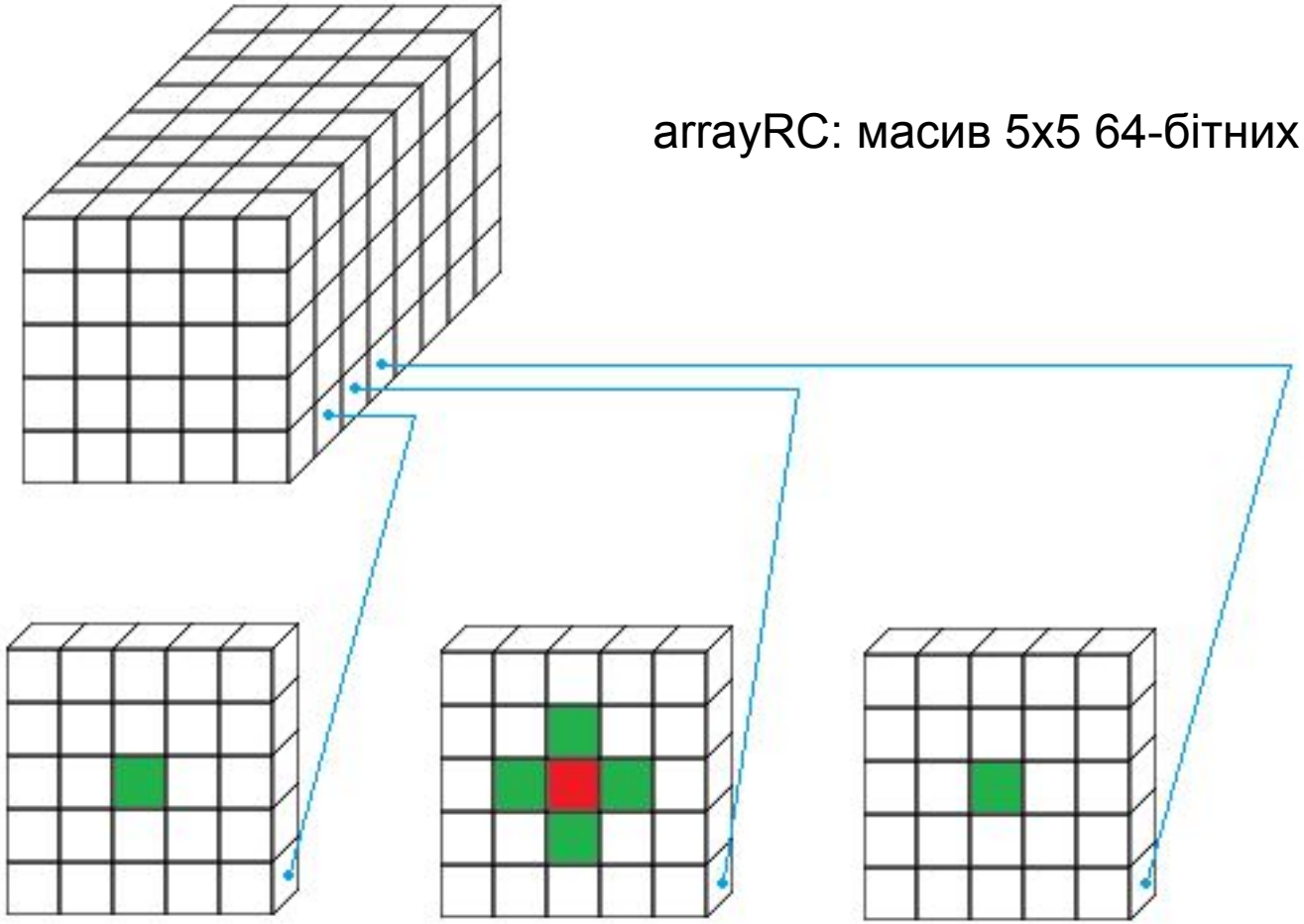
Позначення функцій перемішування	Номер взаємодії	Правило КА	Взаємодія клітин
Rule_30_150_86	1	30	$X'=W\oplus(X\vee E)$
	2	150	$X'=N\oplus X\oplus S$
	3	86	$X'=(NE\vee X)\oplus SE$
	4	86	$X'=(NW\vee X)\oplus SW$
Rule_54_150_86	1	54	$X'=(W\vee E)\oplus X$
	2	150	$X'=N\oplus X\oplus S$
	3	86	$X'=(NE\vee X)\oplus SE$
	4	150	$X'=NW\oplus X\oplus SW$
Rule_54_158_150_86	1	54	$X'=(W\vee E)\oplus X$
	2	158	$X'=N\oplus X\oplus S\vee X\wedge S$
	3	86	$X'=(NE\vee X)\oplus SE$
	4	150	$X'=NW\oplus X\oplus SW$


Початок
Перетворення повідомлення **M** до бінарної форми та доповнення до довжини , кратної **r**
Формування початкового масиву станів **S (r+c)**, довжиною 1600 бітів
Всмоктування
Досягнуто кінця даних
так
ні
Обчислення **S{i}=r XOR M[i]**
Застосування раундової функції **f**
1

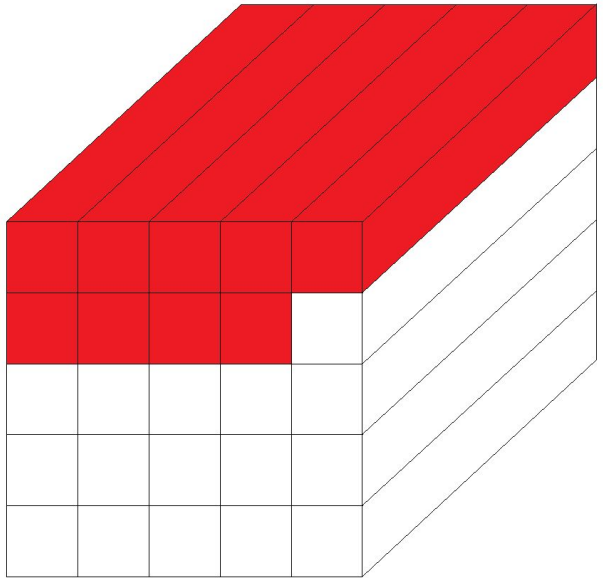

1
Віджим
Одержано хеш потрібної довжини
так
ні
Z[i]=K+Z[i-1]
Виконання раундової функції f
Виведення хешу
Кінець

Тривимірні КА

arrayRC: масив 5x5 64-бітних векторів



ІНІЦІАЛІЗАЦІЯ



ArrayRC

Довжина хешу введена користувачем	RLength
224	1152
256	1088
384	832
Інша довжина	576

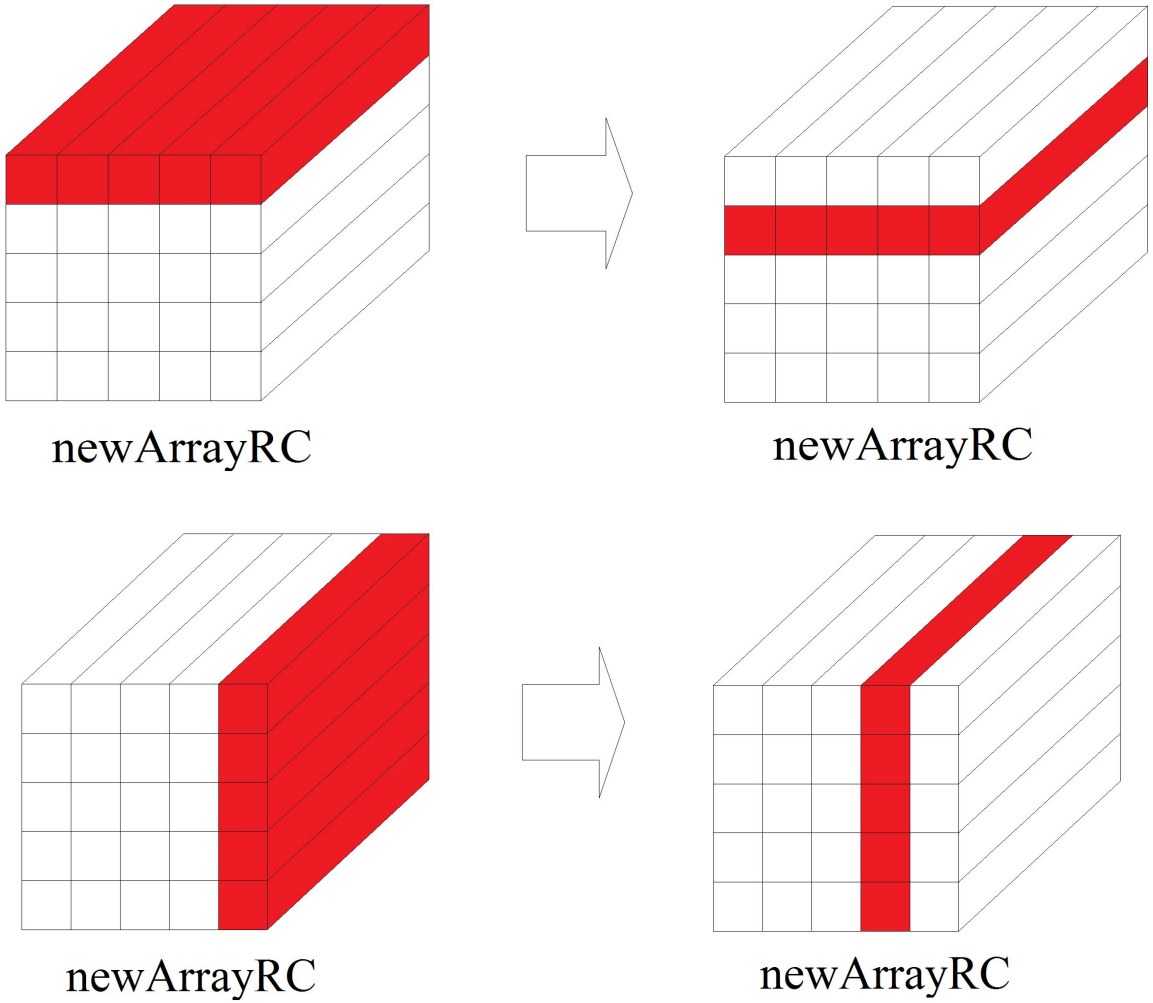
Правила взаємодії

- Правило 30:
  RCArray[i][j] = (nord xor west xor back) xor RCArray[i][j] | (south xor east xor face)

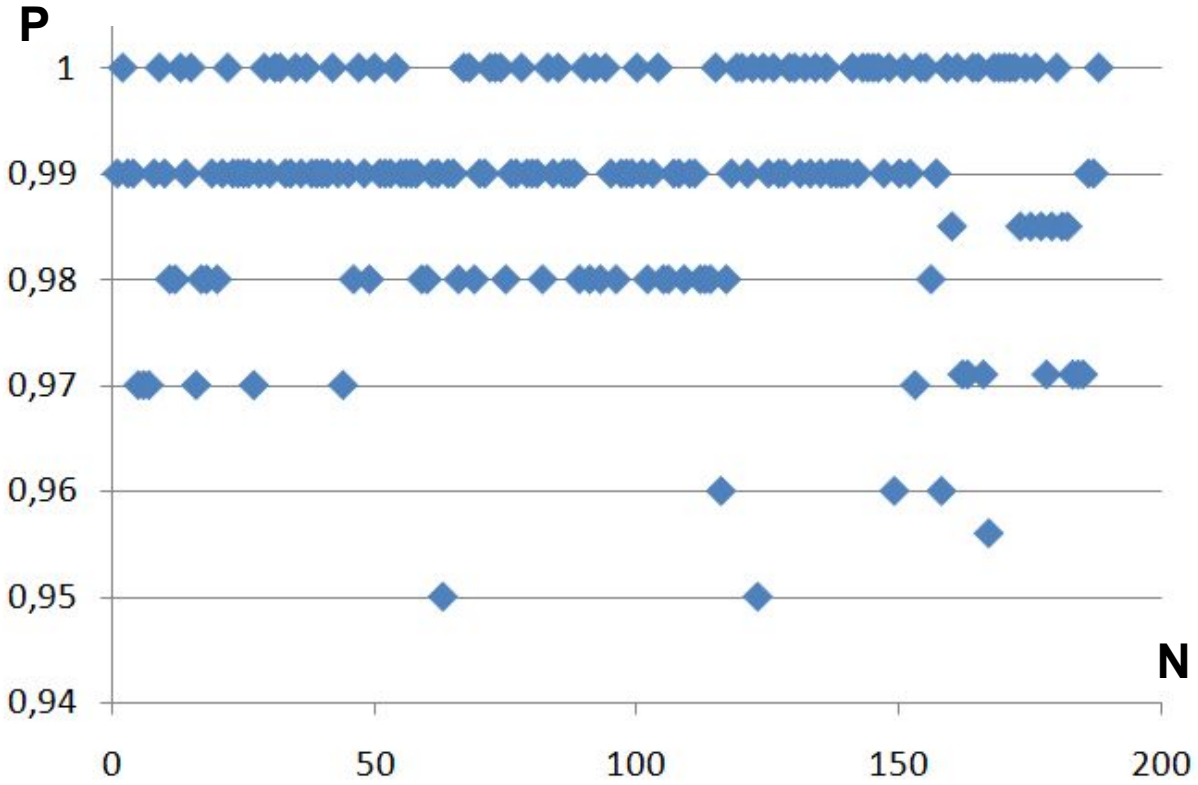
- Правило 86:
  RCArray[i][j] = (nord xor west xor back) | RCArray[i][j] xor (south xor east xor face)

- Правило 150:
  RCArray[i][j] = (nord xor west xor back) xor RCArray[i][j] xor (south xor east xor face)

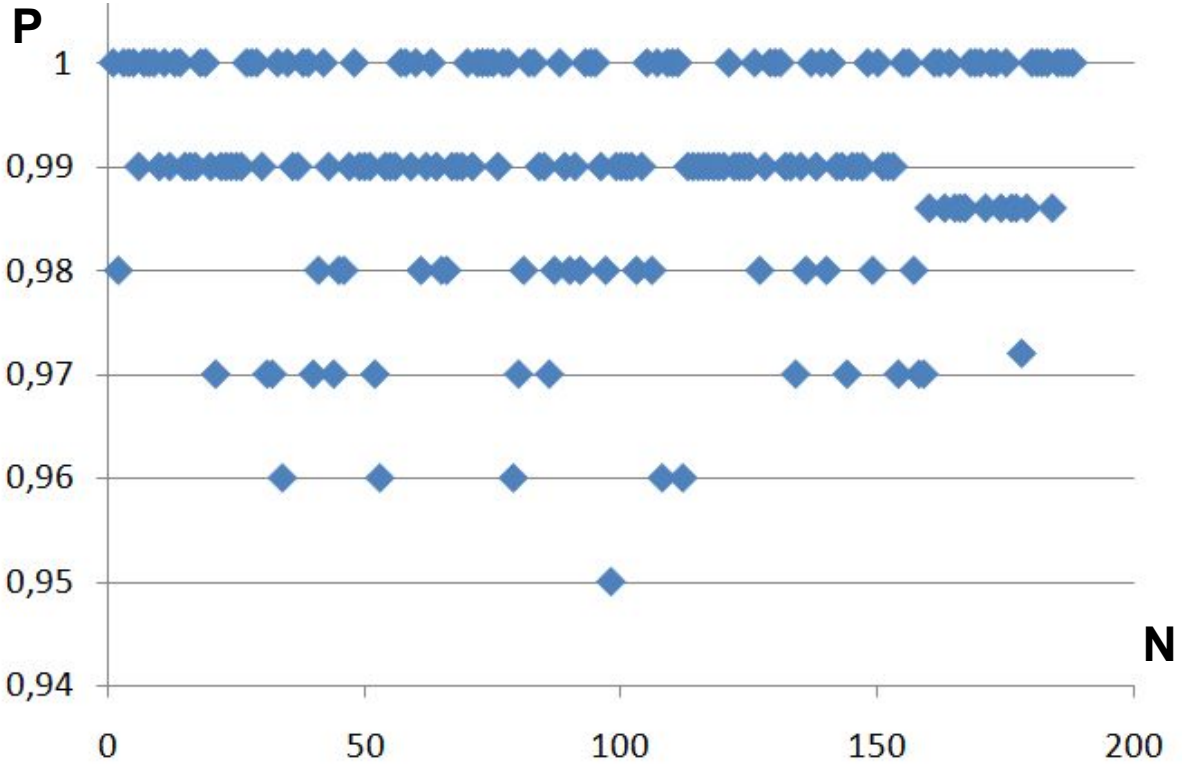
FBlock



Результати статистичного тестування NIST

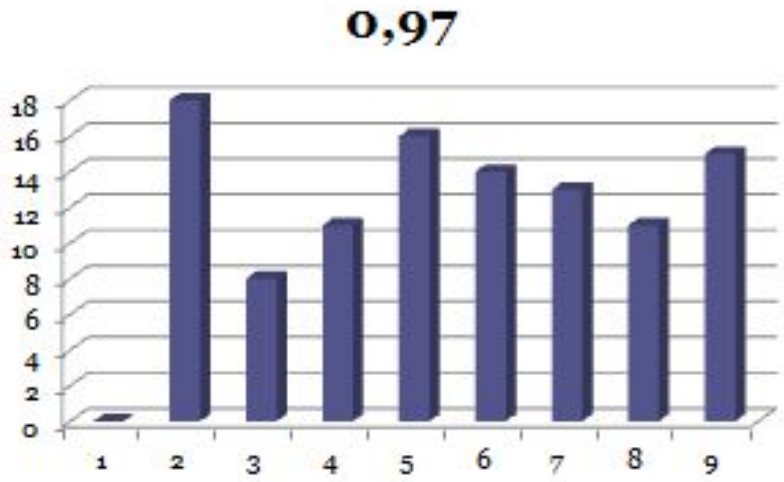


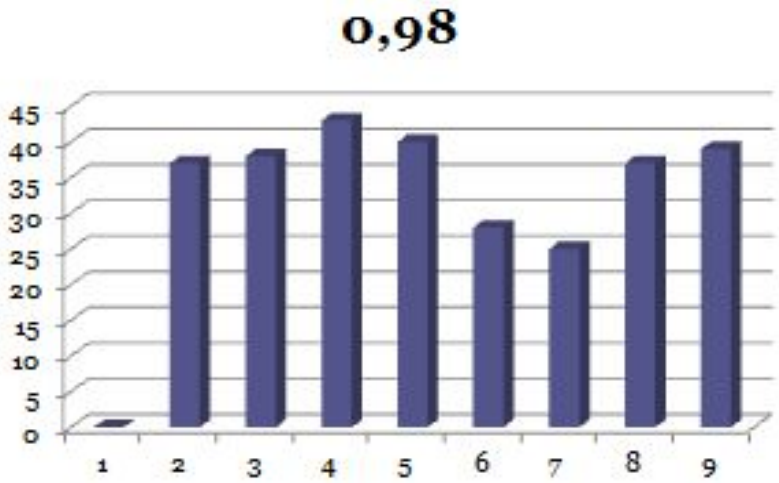
RULE_54_150_86, 5 раундів

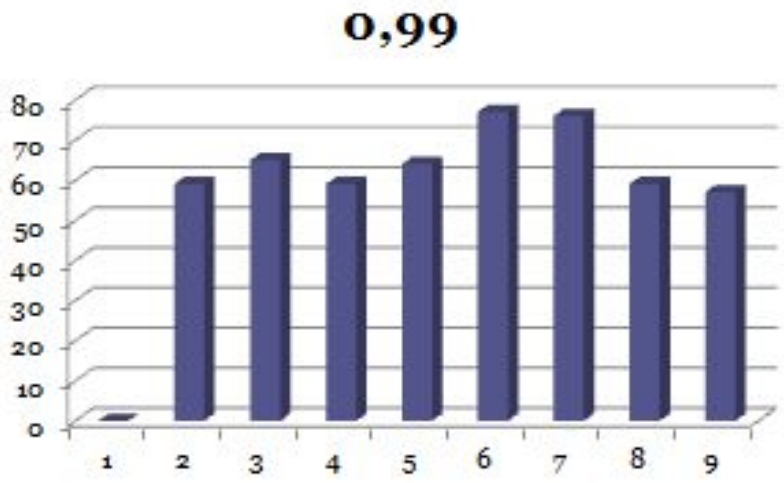


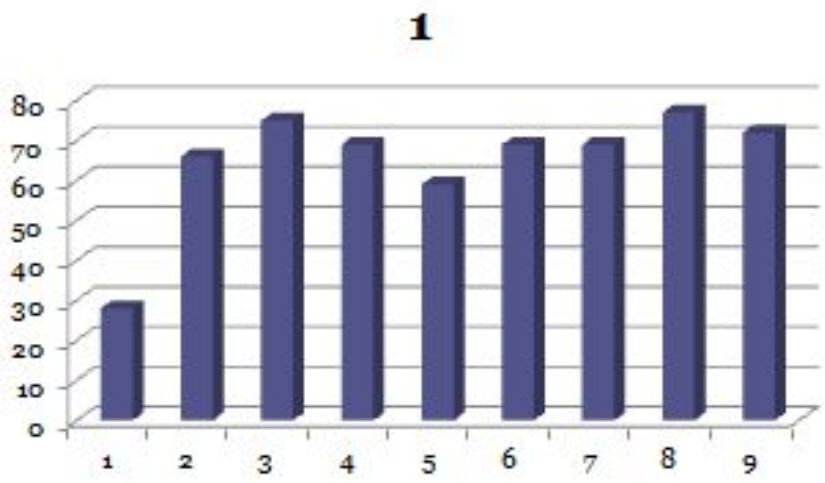
RULE_54_150_86, 10 раундів

ТЕСТИ NIST STS









ШВИДКОДІЯ

Версія алгоритму хешування	Час формування файлу розміром 100Мб	Час формування 512біт хешу для файлу розміром 1Мб (мс)	Швидкодія (кбайт/с)
1	8хв 8с	7684	133,34
2	6хв 47с	4827	217,23
3	13хв 54с	8335	125,8
4	20хв 21с	11594	90,44
5	26хв 36с	15599	67,22
6	32хв 43с	19201	54,61
7	8хв 15с	5241	200,07
8	9хв 46с	9281	112,98
9	14хв 28с	11104	94,43

ОДЕРЖАННЯ ХЕШУ

```
""
DFA49F6AA6385B50D868E3B77EB7E71155167ACB2C215AD47E2B8DCC4AE12AFF
9387D0AD78C20CDA771B018B31F581308CC6E00D1C2F8948CD5033124B911637

"The quick brown fox jumps over the lazy dog"
20836D916D121E67915BA85B220B7CC318913C6BBA931F7E750623F908CF44A2FC
9C4EEAF7C21D9D59DF3EF1CE26617B17E08C20E5AA9DA1F5482016FF4C527D

"The quick brown fox jumps over the lazy dog."
DDE786B38FB7F340CF9D448BD5B726F7B759BE932484A816F8F4E89DC43395ED8DE
5F556C7CE38D4C210E2FD602A1D11AA68B28FBE6B006E0288EC53BC31DECC

"The quick brown fox jumps over the lazy dof"
9A604913D0713EB8599C2EBD1E181389505A5C249753D66CEF85685FEA2968660E19
0C9AD475478026D6C2BDCA108B424CD4B426F305A3A08AD7C6A3470994ED

"fhe quick brown fox jumps over the lazy dog"
9FCC0C347869380C5E5520F7582FD8945DA3906B903B45A5BBC38FFF193DF711256C
9944B3017DE5B506CCCC5F08DA5234A1C8866567316A6DFA5BDEEC618AC7

"The quick brown fox Fumps over the lazy dog"
EA3DCC7EBC18AFD60B23DA110F6E87A6E04E6B240C8D26256F96AC509ADC07358E8A2
54A12C34A5CD688B12973C80059ACC11C893EF266AD0D3915AB59BF907B
```

ДЯКУЮ ЗА УВАГУ !