

МЕТОДИ И СОФТУЕРНИ ИНСТРУМЕНТИ ЗА МНОЖЕСТВЕНО ПОДРАВНЯВАНЕ НА БИОЛОГИЧНИ СЕКВЕНЦИИ БАЗИРАНИ НА ДИНАМИЧНОТО ПРОГРАМИРАНЕ

1

ПРОФ. ПЛАМЕНКА БОРОВСКА

АЛГОРИТЪМ НА ДИНАМИЧНОТО ПРОГРАМИРАНЕ

- В математиката, компютърните науки, икономиката и биоинформатиката, **динамичното програмиране** е метод за решаване на изключително сложни проблеми посредством разбиването им на по-прости подпроблеми.
- Алгоритмите на ДП се използват за оптимизация
- Методът е изключително ефективен в случаите, когато броят на повтарящите се подпроблеми расте експоненциално като функция на размера на входните данни.
- ДП е интелигентен brute-force метод, който ни дава всички възможни решения за да изберем най-доброто
- Методът на ДП гарантира намирането на оптималното решение
- Методът е разработен от Ричард Белман през 50-те години на миналия век и е намерил приложение в множество области, от аерокосмическото инженерство до икономиката.

АЛГОРИТЪМ НА ДИНАМИЧНОТО ПРОГРАМИРАНЕ

- Прилага се за решаването на проблеми, които съдържат припокриващи се подпроблеми и оптимални субструктури.
- Основната идея на динамичното програмиране – за решаването на даден проблем е необходимо да решим различни части от него (подпроблеми), след което комбинираме решенията на подпроблемите за получаване на цялостното решение на проблема – “divide-and-conquer”.
- При използването на по-прости методи, много от подпроблемите се генерират и решават много пъти. При динамичното програмиране всеки подпроблем се решава еднократно при което значително се намалява броят на изчисленията му.
- След като веднъж е изчислено, решението на дадения подпроблем се съхранява -it is "memo-ized". При всеки следващ момент, когато това решение е необходимо, просто резултатът се извиква.

ДИНАМИЧНО ПРОГРАМИРАНЕ

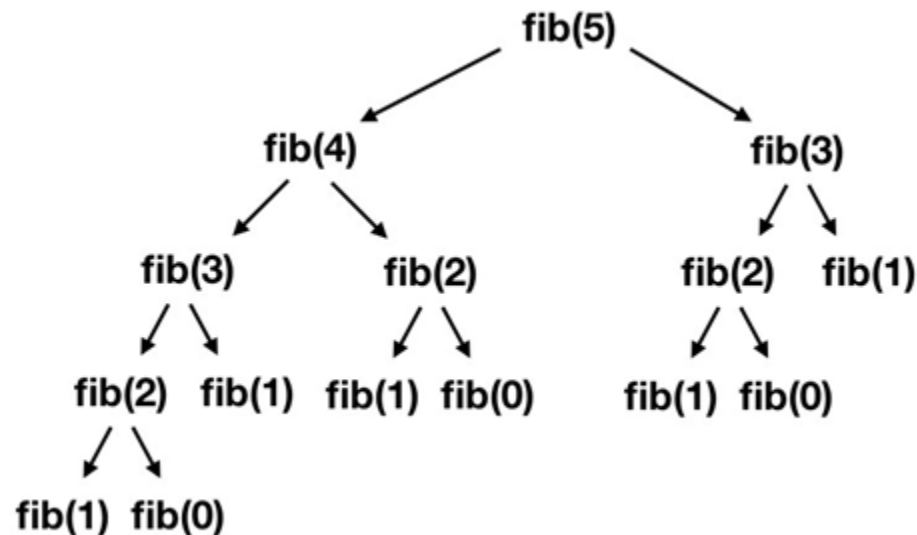
- *По своята същност динамичното програмиране представлява оптимизация базирана на обикновена рекурсия.*
- Където и да видим рекурсивно решение, което има многократни повиквания за едни и същи входни данни, можем да го оптимизираме с помощта на динамично програмиране.
- Идеята е просто да съхраняваме резултатите от подпроблемите, така че да не се налага да ги преизчисляваме, когато е необходимо по-късно.
- Тази проста оптимизация намалява сложността на времето от експоненциална до полинома.
- Например, ако напишем просто рекурсивно решение за числата на Фибоначи, получаваме експоненциална времева сложност и ако оптимизираме чрез съхраняване на решения на подпроблеми, сложността на времето се намалява до линейна.
- <https://www.geeksforgeeks.org/dynamic-programming/>

АЛГОРИТЪМ НА ДИНАМИЧНОТО ПРОГРАМИРАНЕ

- В компютърните науки **memoization** е оптимизационна техника, използвана предимно за ускоряване на изпълнението на програмата чрез използване на function calls за да се избегне повторението на вече изпълнени изчисления
- В контекста на някои езици за логическо програмиране, memoization е известна като tabling (lookup table).
- Терминът "*memoization*" за пръв път е използван от Donald Michie (Оксфорд, Единбург, специалист по изкуствен интелект) през 1968 г. и **произхожда от латинската дума *memorandum* (да се запомни), или "*мето*"** - да се запомнят резултатите на функциите.
- Терминът ***memoization*** да не се бърка с ***memorization***

ДИНАМИЧНО ПРОГРАМИРАНЕ

- Ако рекурсивният код е написан веднъж, тогава **memoization** е само модифициране на рекурсивната програма и запомняне на стойностите за връщане, за да се избегнат повтарящи се извиквания на функции, които са били изчислени преди това.



АЛГОРИТЪМ ПО МЕТОДА НА ДИНАМИЧНОТО ПРОГРАМИРАНЕ ЗА ПОДРАВНЯВАНЕ НА БИОЛОГИЧНИ СЕКВЕНЦИИ

- Динамично програмиране е изчислителен метод, който се използва за подравняване на две секвенции от протеини или от нуклеинови киселини.
- Този метод е от изключително значение за анализа на биологични секвенции, тъй като дава оптималното подравняване за две секвенции
- При метода на динамичното програмиране се извършва сравнение на всяка двойка символи в двете секвенции и се генерира подравняване на секвенциите.
- Това подравняване включва съвпадащи и несъвпадащи символи и празнини в двете секвенции, които са разположени така, че броят на съвпаденията между еднакви или свързани знаци, е максималния възможен.

АЛГОРИТЪМ ПО МЕТОДА НА ДИНАМИЧНОТО ПРОГРАМИРАНЕ ЗА ПОДРАВНЯВАНЕ НА БИОЛОГИЧНИ СЕКВЕНЦИИ

- *Математически е доказано, че този метод генерира оптималното подравняване на две секвенции* при зададено множество на условията за съвпадения.
- Оптималните подреждания предоставят полезна информация за биолозите за релациите между секвенциите като напр., кои символи в секвенциите трябва да се позиционират в една и съща колона при подравняването, и като резултат се виждат позициите на вмъкване в едната секвенция (или заличаванията съответно в другата секвенция).
- Получената информация е важна за прогнозирането на функцията, структурата и еволюцията

АЛГОРИТЪМ ПО МЕТОДА НА ДИНАМИЧНОТО ПРОГРАМИРАНЕ ЗА ПОДРАВНЯВАНЕ НА БИОЛОГИЧНИ СЕКВЕНЦИИ

- Софтуерът за глобално подравняване на секвенции се базира на алгоритъма *Needleman-Wunsch*, докато софтуерът за локално подравняване на секвенции се базира на алгоритъма *Smith-Waterman*
- Методът на динамичното програмиране може да се използва и за подравняване на множество секвенции, но само за малък брой секвенции, тъй като сложността на алгоритъма нараства значително за повече от две секвенции
- Програми за подравняване на секвенции се предлагат като част от софтуерните пакети за обработка и анализ на секвенции като напр., широко използвания пакет *Genetics Computer Group GAP (global alignment) and BESTFIT (local alignment) programs.*

ЦЕЛ НА АНАЛИЗА

- Откриване на общи участъци в структурите на два протеина или еднакви особености на структурата?
- Принадлежат ли изследваните протеини към едно и също семейство по отношение на дадена биологична функция
- Дали протеините споделят общ прародител (общ произход)
- Важни аспекти за изборът на типа на използвания софтуер, дали да се направи глобално или локално подравняване, избор на вида на оценъчната матрица и стойността на санкциите за наличието на празни позиции

МЕТОД НА ДИНАМИЧНОТО ПРОГРАМИРАНЕ ЗА ПОДРАВНЯВАНЕ НА СЕКВЕНЦИИ

- Методът на динамичното програмиране предполага да се следва най-добрата конфигурация на подравняването, получена до момента.
- Правят се опити за подравняването на две секвенции посредством вмъкването на празнини в различни позиции, така че да се максимизира оценката на съвпаденията при това подравняване
- Оценката се определя на базата на **"match award"** – награда за съвпаденията, **"mismatch penalty"** – санкции за разликите, и **"gap penalty"** – санкции за празнините. Колкото е по-висока оценката, толкова е по-добро подравняването.

МЕТОД НА ДИНАМИЧНОТО ПРОГРАМИРАНЕ ЗА ПОДРАВНЯВАНЕ НА СЕКВЕНЦИИ

- Ако санкциите за несъвпаденията и празнините се фиксират на 0, то целта е да се открие подравняване с максимален брой съвпадения.
- **Maximum match** = дефинира се като максималния брой съвпадения, които могат да се получат чрез всички възможни изтривания на различните позиции в другата секвенция
- Използва се при сравнението на протеинови или ДНК секвенции, за предсказване на сходства в тяхната функционалност.
- примери: **Needleman-Wunsch(1970), Sellers(1974), Smith-Waterman(1981)**

АЛГОРИТЪМ НА NEEDLEMAN-WUNSCH

- Осъществява глобално подравняване на две секвенции (A и B) и се прилага за подравняване на протеинови или нуклеотидни секвенции.
- Основава се на метода на динамичното програмиране и гарантира изчисляването на максималното подравняване
- Оценките за подредените символи се специфицират в оценъчна матрица (scoring matrix) на основата на сходството на символите в позиции i и j на двете секвенции

ГЛОБАЛНО ПОДРАВНЯВАНЕ: АЛГОРИТЪМ НА *NEEDLEMAN-WUNSCH*

- Методът на динамичното програмиране е разширен с подобрена система за оценка от Smith и Waterman
- Оптималната оценка за всяка позиция в матрицата се изчислява като се прибавя оценката за текущата позиция към сумарната оценка от предишните позиции и се изваждат санкциите за празнините
- Оценката (сумарният брой точки) за всяка позиция на матриците може да бъде положително число, отрицателно число, или 0.
- Алгоритъмът на Needleman-Wunsch максимизира броя на позициите със съвпадения между секвенциите по цялата им дължина.

THE NEEDLEMAN-WUNSCH ALGORITHM

1. Създава се таблица $(m+1) \times (n+1)$ за секвенциите \mathbf{s} и \mathbf{t} с дължини m и n , съответно
2. Попълват се в таблицата позиции $(m:1)$ и $(1:n)$ със стойностите:

$$M_{i,1} = \sum_{k=1}^i \sigma(\mathbf{s}_k, -), \quad M_{1,j} = \sum_{k=1}^j \sigma(-, \mathbf{t}_k)$$

3. Започвайки от горния ляв ъгъл, се изчислява всяка позиция с помощта на рекурсивната релация :

$$M_{i,j} = \max \left\{ \begin{array}{l} M_{i-1,j-1} + \sigma(\mathbf{s}_i, \mathbf{t}_j) \\ M_{i-1,j} + \sigma(\mathbf{s}_i, -) \\ M_{i,j-1} + \sigma(-, \mathbf{t}_j) \end{array} \right\}$$

4. Прави се обратно прохождение на матрицата от долния десен ъгъл
5. Конструира се подравняването на секвенциите

АЛГОРИТЪМ НА NEEDLEMAN-WUNSCH

- След изчисляването на матрицата F , долният десен ъгъл на матрицата съдържа максималната възможна оценка за произволно подравняване на двете секвенции
- За да се определи подравняването, съответстващо на максималната оценка, стартираме от най-горната лява клетка на матрицата, и сравняваме оценката с трите възможни избора - Choice_1 (диагонал), Choice_2 (нагоре) и Choice_3 (наляво) за да открием най-доброто подравняване на двата символа.
- В случай на Choice_1 , то $A(i)$ и $B(i)$ са подравнени, при Choice_2 - $A(i)$ е подравнена с празнина, при Choice_3 - $B(i)$ е подравнена с празнина.

АЛГОРИТЪМ НА ДП

- Съществуват 3 възможни алтернативи в оценъчната матрица за достигане на дадена позиция: *(1)ход по диагонала $diag$ от позиция $i-1, j-1$ към позиция i, j без санкции за празнини; (2-3) ход от произволна друга позиция от колона j или ред i , със санкция за празнини, която зависи от броя на празните позиции – *up and left*.*
- За две секвенции $a=a_1a_2...a_n$ and $b=b_1b_2...b_n$, *където $S_{ij}=S(a_1a_2...a_i, b_1b_2...b_j)$ then* (Smith and Waterman 1981)

$$S_{ij} = \max \left\{ \begin{array}{l} S_{i-1, j-1} + s(a_i b_j), \\ \max_{x \geq 1} (S_{i-x, j} - w_x), \\ \max_{y \geq 1} (S_{i, j-y} - w_y) \end{array} \right\}$$

MAX (DIAG, UP, LEFT)



The Needleman-Wunsch Algorithm

1. Initialization.

- a. $F(0, 0) = 0$
- b. $F(0, j) = -j \times d$
- c. $F(i, 0) = -i \times d$

2. Main Iteration. Filling-in partial alignments

- a. For each $i = 1 \dots M$
For each $j = 1 \dots N$

$$F(i, j) = \max \begin{cases} F(i-1, j-1) + s(x_i, y_j) & \text{[case 1]} \\ F(i-1, j) - d & \text{[case 2]} \\ F(i, j-1) - d & \text{[case 3]} \end{cases}$$

$$\text{Ptr}(i, j) = \begin{cases} \text{DIAG}, & \text{if [case 1]} \\ \text{LEFT}, & \text{if [case 2]} \\ \text{UP}, & \text{if [case 3]} \end{cases}$$

- ## 3. Termination. $F(M, N)$ is the optimal score, and from $\text{Ptr}(M, N)$ can trace back optimal alignment

АЛГОРИТЪМ НА NEEDLEMAN-WUNSCH

Дадени са две
секвенции:

A → **CCGТАСТА**

B → **CAGАССТА**

За позиция 2

Choice 1

CCGТАСТА

CAGАССТА

A(i) и B(i) са подравнени

*Оценката е match или
mismatch*

Choice 2

A(i) е подравнена с
празнина

C-CGТАСТА

CAGАССТА

Оценката е -2 (gap penalty)

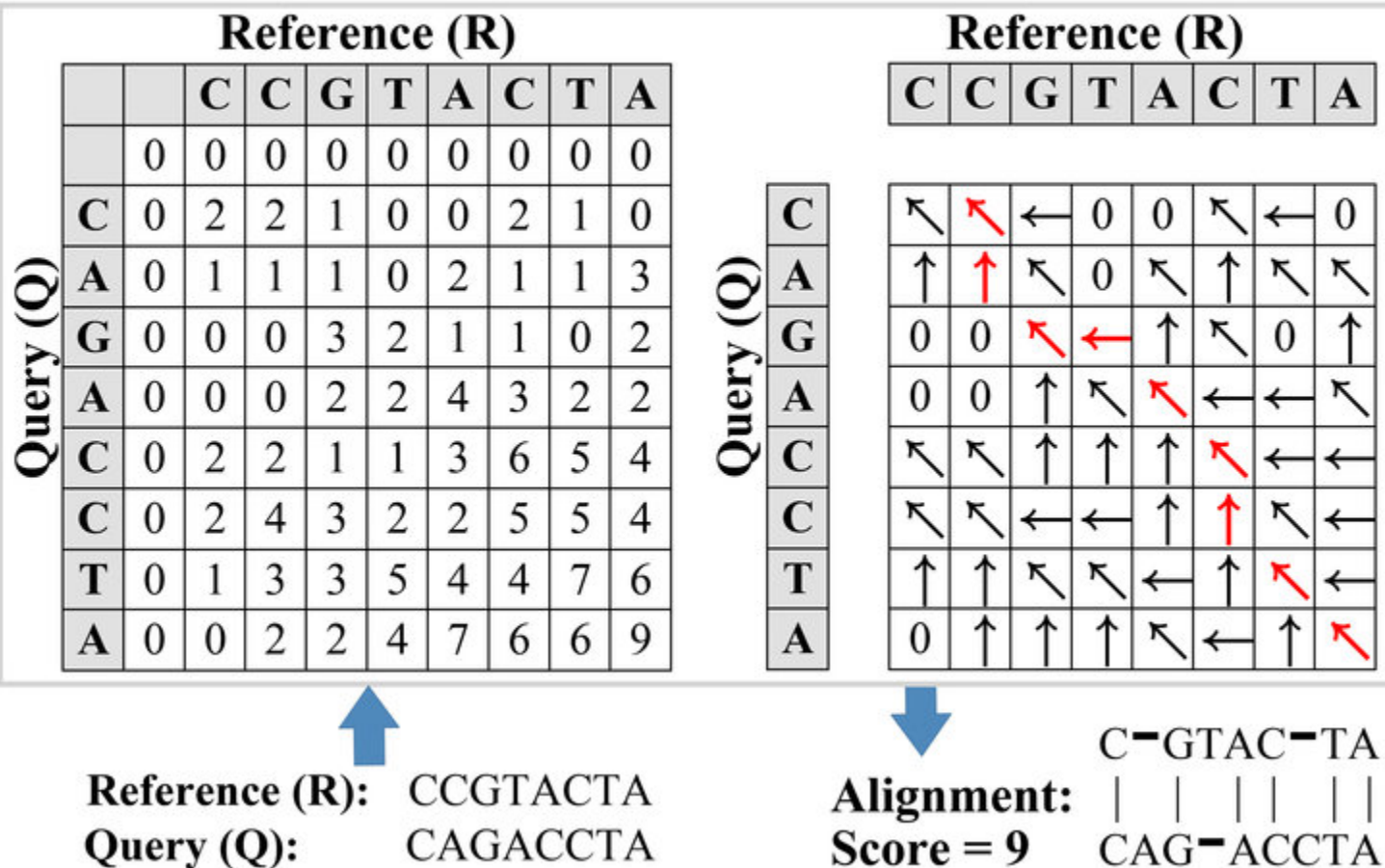
Choice 3

B(i) е подравнена с
празнина

CCGТАСТА

C-AGАССТА

Оценката е -2



СТЪПКА 1: ИНИЦИАЛИЗАЦИЯ НА ОЦЕНЪЧНАТА МАТРИЦА

MATCH = +10 MISMATCH = -2 GAP = -5									
	λ	C	T	C	G	C	A	G	C
λ	0	-5	-10	-15	-20	-25	-30	-35	-40
C	-5								
A	-10								
T	-15								
T	-20								
C	-25								
A	-30								
C	-35								

СТЪПКА 2: ЗАПЪЛВАНЕ НА ОЦЕНЪЧНАТА МАТРИЦА MATRIX

MATCH = +10 MISMATCH = -2 GAP = -5									
	λ	C	T	C	G	C	A	G	C
λ	0	-5	-10	-15	-20	-25	-30	-35	-40
C	-5								
A	-10								
T	-15								
T	-20								
C	-25								
A	-30								
C	-35								

$D(\text{diag}) (C,C) = 10 + 0 = 10$
 $T(\text{top}) (-,C) = -5$
 $L(\text{left}) (C,-) = -5$
 $\text{MAX}(D,T,L) = \text{MAX}(10,-5,-5) = 10$
 $\text{MATRIX}[1,1] \leftarrow 10$
 МАТРИЦА ЗА КОНСТРУИРАНЕ
 НА ПОДРАВНЯВАНЕТО
 $\text{BACKTRACE}[1,1] \leftarrow D$

MATCH = +10 MISMATCH = -2 GAP = -5									
	λ	C	T	C	G	C	A	G	C
λ	0	-5	-10	-15	-20	-25	-30	-35	-40
C	-5	10/ D		D (diag) (C,C)=10+0=10 T (top) (-,C) = 10-5 = 5 L (left) (C,-) = -5 MAX (D,T,L) = MAX(10,-5,-5) = 10 MATRIX [1,1] \leftarrow 10					
A	-10								
T	-15								
T	-20			МАТРИЦА ЗА КОНСТРУИРАНЕ НА ПОДРАВНЯВАНЕТО BACKTRACE [1,1] \leftarrow D					
C	-25								
A	-30								
C	-35								

MATCH = +10 MISMATCH = -2 GAP = -5									
	λ	C	T	C	G	C	A	G	C
λ	0	-5	-10	-15	-20	-25	-30	-35	-40
C	-5	10							
A	-10								
T	-15								
T	-20								
C	-25								
A	-30								
C	-35								

$D(\text{diag})(T,C) = -2 - 5 = -7$
 $T(\text{top})(-,C) = -10 - 5 = -15$
 $L(\text{left})(T,-) = 10 - 5 = 5$

$\text{MAX}(D,T,L) = \text{MAX}(-7, -15, 5) = 5$
 $\text{MATRIX}[1,2] \leftarrow 5$

МАТРИЦА ЗА КОНСТРУИРАНЕ
 НА ПОДРАВНЯВАНЕТО
 $\text{BACKTRACE}[1,2] \leftarrow L$

MATCH = +10 MISMATCH = -2 GAP = -5									
	λ	C	T	C	G	C	A	G	C
λ	0	-5	-10	-15	-20	-25	-30	-35	-40
C	-5	10 D	5 L						
A	-10								
T	-15								
T	-20								
C	-25								
A	-30								
C	-35								

MATCH = +10 MISMATCH = -2 GAP = -5									
	λ	C	T	C	G	C	A	G	C
λ	0	-5	-10	-15	-20	-25	-30	-35	-40
C	-5	10	5						
A	-10								
T	-15								
T	-20								
C	-25								
A	-30								
C	-35								

$D(\text{diag})(C,A) = -2 - 5 = -7$
 $T(\text{top})(-,A) = 10 - 5 = 5$
 $L(\text{left})(C,-) = -10 - 5 = -15$
 $MAX(D,T,L) = MAX(-7, -15, 5) = 5$
 $MATRIX[2,1] \leftarrow 5$
 МАТРИЦА ЗА КОНСТРУИРАНЕ
 НА ПОДРАВНЯВАНЕТО
 $BACKTRACE[2,1] \leftarrow T$

MATCH = +10 MISMATCH = -2 GAP = -5									
	λ	C	T	C	G	C	A	G	C
λ	0	-5	-10	-15	-20	-25	-30	-35	-40
C	-5	10 D	5 L						
A	-10	5 T							
T	-15								
T	-20								
C	-25								
A	-30								
C	-35								

MATCH = +10 MISMATCH = -2 GAP = -5									
	λ	C	T	C	G	C	A	G	C
λ	0	-5	-10	-15	-20	-25	-30	-35	-40
C	-5	10	5						
A	-10	5							
T	-15								
T	-20								
C	-25								
A	-30								
C	-35								

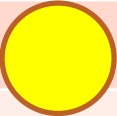
D (diag) (T,A) = $10 - 2 = 8$
T (top) (-,A) = $5 - 5 = 0$
L (left) (T,-) = $5 - 5 = 0$

MAX (D,T,L) = MAX(8,0,0) = 8
MATRIX [2,2] $\leftarrow 8$

МАТРИЦА ЗА КОНСТРУИРАНЕ НА ПОДРАВНЯВАНЕТО
BACKTRACE [2,2] $\leftarrow \mathbf{D}$

MATCH = +10 MISMATCH = -2 GAP = -5									
	λ	C	T	C	G	C	A	G	C
λ	0	-5	-10	-15	-20	-25	-30	-35	-40
C	-5	10 D	5 L						
A	-10	5 T	8 D						
T	-15								
T	-20								
C	-25								
A	-30								
C	-35								

D (diag) (C,C) = 10-10 = 0
T (top) (-,C) = -15-5 = -20
L (left) (C,-) = 5-5 = 0
MAX (D,T,L) = MAX(0,-20,0) = 0
MATRIX [1,3] \leftarrow 0
МАТРИЦА ЗА КОНСТРУИРАНЕ НА ПОДРАВНЯВАНЕТО
BACKTRACE [1,3] \leftarrow D

MATCH = +10 MISMATCH = -2 GAP = -5									
	λ	C	T	C	G	C	A	G	C
λ	0	-5	-10	-15	-20	-25	-30	-35	-40
C	-5	10 D	5 L	0 D					
A	-10	5 T	8 D						
T	-15								
T	-20								
C	-25								
A	-30								
C	-35								

MATCH = +10 MISMATCH = -2 GAP = -5									
	λ	C	T	C	G	C	A	G	C
λ	0	-5	-10	-15	-20	-25	-30	-35	-40
C	-5	10 D	5 L	0 D					
A	-10	5	8 D		D (diag) (C,T)= $-2-10 = -12$ T (top) (-,T) = $5-5 = 0$ L (left) (C,-) = $-15-5 = -20$				
T	-15								
T	-20								
C	-25				MAX (D,T,L) = MAX(-12,0,-20) = 0 MATRIX [3,1] \leftarrow 0				
A	-30				МАТРИЦА ЗА КОНСТРУИРАНЕ НА ПОДРАВНЯВАНЕТО BACKTRACE [3,1] \leftarrow T				
C	-35								

MATCH = +10 MISMATCH = -2 GAP = -5									
	λ	C	T	C	G	C	A	G	C
λ	0	-5	-10	-15	-20	-25	-30	-35	-40
C	-5	10 D	5 L	0 D					
A	-10	5 T	8 D						
T	-15	0 T							
T	-20								
C	-25								
A	-30								
C	-35								

MATCH = +10 MISMATCH = -2 GAP = -5									
	λ	C	T	C	G	C	A	G	C
λ	0	-5	-10	-15	-20	-25	-30	-35	-40
C	-5	10 D	5 L	0 D					
A	-10	5 T	8 D						
T	-15	0 T							
T	-20								
C	-25								
A	-30								
C	-35								

MATCH = +10 MISMATCH = -2 GAP = -5

	λ	C	T	C	G	C	A	G	C
λ	0	-5	-10	-15	-20	-25	-30	-35	-40
C	-5	10 D	5 L	0 D					
A	-10	5 T	8 D						
T	-15	0 T							
T	-20								
C	-25								
A	-30								
C	-35								

MATCH = +10 MISMATCH = -2 GAP = -5

	λ	C	T	C	G	C	A	G	C
λ	0	-5	-10	-15	-20	-25	-30	-35	-40
C	-5	10 D	5 L	0 D					
A	-10	5 T	8 D						
T	-15	0 T							
T	-20								
C	-25								
A	-30								
C	-35								

D (diag) (G,C) = $-2 - 15 = -17$

T (top) (-,C) = $-20 - 5 = -25$

L (left) (G,-) = $0 - 5 = -5$

MAX (D,T,L) = MAX(-17,-25,-5) =
= -5

MATRIX [1,4] ← -5

МАТРИЦА ЗА КОНСТРУИРАНЕ
НА ПОДРАВНЯВАНЕТО

BACKTRACE [1,4] ← L

MATCH = +10 MISMATCH = -2 GAP = -5									
	λ	C	T	C	G	C	A	G	C
λ	0	-5	-10	-15	-20	-25	-30	-35	-40
C	-5	10 D	5 L	0 D	-5 L				
A	-10	5 T	8 D						
T	-15	0 T							
T	-20								
C	-25								
A	-30								
C	-35								

MATCH = +10 MISMATCH = -2 GAP = -5

	λ	C	T	C	G	C	A	G	C
λ	0	-5	-10	-15	-20	-25	-30	-35	-40
C	-5	10 D	5 L	0 D	-5 L				
A	-10	5 T	8 D						
T	-15	0 T							
T	-20								
C	-25								
A	-30								
C	-35								

D (diag) (A,C) = -2 + 5 = 3

T (top) (-,C) = 0-5 = -5

L (left) (A,-) = 8-5 = 3

MAX (D,T,L) = MAX(3,-5,3) = 3

MATRIX [2,3] ← 3

**МАТРИЦА ЗА КОНСТРУИРАНЕ
НА ПОДРАВНЯВАНЕТО**

BACKTRACE [2,3] ← D

MATCH = +10 MISMATCH = -2 GAP = -5

	λ	C	T	C	G	C	A	G	C
λ	0	-5	-10	-15	-20	-25	-30	-35	-40
C	-5	10 D	5 L	0 D	-5 L				
A	-10	5 T	8 D						
T	-15	0 T							
T	-20								
C	-25								
A	-30								
C	-35								

D (diag) (A,C) = -2 + 5 = 3

T (top) (-,C) = 0-5 = -5

L (left) (A,-) = 8-5 = 3



MAX (D,T,L) = MAX(3,-5,3) = 3

MATRIX [2,3] ← 3

**МАТРИЦА ЗА КОНСТРУИРАНЕ
НА ПОДРАВНЯВАНЕТО**

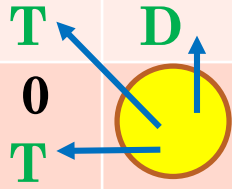
BACKTRACE [2,3] ← D

MATCH = +10 MISMATCH = -2 GAP = -5

	λ	C	T	C	G	C	A	G	C
λ	0	-5	-10	-15	-20	-25	-30	-35	-40
C	-5	10 D	5 L	0 D	-5 L				
A	-10	5 T	8 D	3 D					
T	-15	0 T							
T	-20								
C	-25								
A	-30								
C	-35								

MATCH = +10 MISMATCH = -2 GAP = -5

	λ	C	T	C	G	C	A	G	C
λ	0	-5	-10	-15	-20	-25	-30	-35	-40
C	-5	10 D	5 L	0 D	-5 L				
A	-10	5 T	8 D	3 D					
T	-15	0 T							
T	-20								
C	-25								
A	-30								
C	-35								



D (diag) (T,T)= 10 + 5 = 15
T (top) (-,T) = 8-5 = 3
L (left) (T,-) = 0-5= -5

MAX (D,T,L) = MAX(15,3,-5) = 15
MATRIX [3,2] ← 15

МАТРИЦА ЗА КОНСТРУИРАНЕ
НА ПОДРАВНЯВАНЕТО
BACKTRACE [3,2] ← D

MATCH = +10 MISMATCH = -2 GAP = -5

	λ	C	T	C	G	C	A	G	C
λ	0	-5	-10	-15	-20	-25	-30	-35	-40
C	-5	10 D	5 L	0 D	-5 L				
A	-10	5 T	8 D	3 D	D (diag) (C,T) = -15 -2 = -17 T (top) (-,T) = 0-5 = -5 L (left) (C,-) = -20-5 = -25				
T	-15	0 T	15 D						
T	-20				MAX (D,T,L) = MAX(-17,-5,-25) = -5 MATRIX [4,1] ← -5				
C	-25				МАТРИЦА ЗА КОНСТРУИРАНЕ НА ПОДРАВНЯВАНЕТО BACKTRACE [4,1] ← T				
A	-30								
C	-35								

MATCH = +10 MISMATCH = -2 GAP = -5

	λ	C	T	C	G	C	A	G	C
λ	0	-5	-10	-15	-20	-25	-30	-35	-40
C	-5	10 D	5 L	0 D	-5 L				
A	-10	5 T	8 D	3 D					
T	-15	0 T	15 D						
T	-20	-5 T							
C	-25								
A	-30								
C	-35								

D (diag) (C,C) = -20 + 10 = -10
T (top) (-,C) = -25 - 5 = -30
L (left) (C,-) = -5 - 5 = -10

MAX (D,T,L) = MAX(-10, -30, -10) = -10
MATRIX [1,5] ← -10

МАТРИЦА ЗА КОНСТРУИРАНЕ НА ПОДРАВНЯВАНЕТО
BACKTRACE [1,5] ← D

MATCH = +10 MISMATCH = -2 GAP = -5

	λ	C	T	C	G	C	A	G	C
λ	0	-5	-10	-15	-20	-25	-30	-35	-40
C	-5	10 D	5 L	0 D	-5 L	-10 D			
A	-10	5 T	8 D	3 D	-2 D	D (diag) (C,T)= 8-2 = 6 T (top) (-,T) = 3- 5 = -2 L (left) (C,-) = 15 - 5 =10 MAX (D,T,L) = MAX(6,-2,10) = -2 MATRIX [3,3] ← 10			
T	-15	0 T	15 D						
T	-20	-5 T							
C	-25					МАТРИЦА ЗА КОНСТРУИРАНЕ НА ПОДРАВНЯВАНЕТО BACKTRACE [3,3] ← L			
A	-30								
C	-35								

MATCH = +10 MISMATCH = -2 GAP = -5									
	λ	C	T	C	G	C	A	G	C
λ	0	-5	-10	-15	-20	-25	-30	-35	-40
C	-5	10 D	5 L	0 D	-5 L	-10 D			
A	-10	5 T	8 D	3 D	-2 D				
T	-15	0 T	15 D	10 L	D (diag) (T,T) = 0+10 = 10 T (top) (-,T) = 15- 5 = 10 L (left) (T,-) = -5 - 5 = -10				
T	-20	-5 T			MAX (D,T,L) = MAX(10,10,-10) = 10 MATRIX [4,2] ← 10				
C	-25				МАТРИЦА ЗА КОНСТРУИРАНЕ НА ПОДРАВНЯВАНЕТО BACKTRACE [4,2] ← D				
A	-30								
C	-35								

MATCH = +10 MISMATCH = -2 GAP = -5									
	λ	C	T	C	G	C	A	G	C
λ	0	-5	-10	-15	-20	-25	-30	-35	-40
C	-5	10 D	5 L	0 D	-5 L	-10 D			
A	-10	5 T	8 D	3 D	-2 D				
T	-15	0 T	15 D	10 L	D (diag) (C,C) = -20+10 = -10				
T	-20	-5 T	10 D		T (top) (-,C) = -5- 5 = -10				
C	-25				L (left) (C,-) = -25 - 5 = -30				
A	-30				MAX (D,T,L) = MAX(-10,-10,-30) = -10				
C	-35				MATRIX [5,1] \leftarrow -10				

МАТРИЦА ЗА КОНСТРУИРАНЕ НА ПОДРАВНЯВАНЕТО
 BACKTRACE [5,1] \leftarrow D

MATCH = +10 MISMATCH = -2 GAP = -5									
	λ	C	T	C	G	C	A	G	C
λ	0	-5	-10	-15	-20	-25	-30	-35	-40
C	-5	10 D	5 L	0 D	-5 L	-10 D			
A	-10	5 T	8 D	3 D	-2 D				
T	-15	0 T	15 D	10 L					
T	-20	-5 T	10 D						
C	-25	-10 D							
A	-30								
C	-35								

D (diag) (C,A) = $-25 - 2 = -27$
 T (top) (-,A) = $-10 - 5 = -15$
 L (left) (C,-) = $-30 - 5 = -35$

MAX (D,T,L) = MAX(-27, -15, -35) =
 = -15

MATRIX [6,1] ← -15

МАТРИЦА ЗА
 КОНСТРУИРАНЕ НА
 ПОДРАВНЯВАНЕТО
 BACKTRACE [6,1] ← T

MATCH = +10 MISMATCH = -2 GAP = -5									
	λ	C	T	C	G	C	A	G	C
λ	0	-5	-10	-15	-20	-25	-30	-35	-40
C	-5	10 D	5 L	0 D	-5 L	-10 D			
A	-10	5 T	8 D	3 D	-2 D				
T	-15	0 T	15 D	10 L					
T	-20	-5 T	10 D						
C	-25	-10 D							
A	-30	-15 T							
C	-35								

D (diag) (T,C) = $-5 - 2 = -7$
 T (top) (-,C) = $10 - 5 = 5$
 L (left) (T,-) = $-10 - 5 = -15$

 MAX (D,T,L) = MAX(-7,5,-15) = 5
 MATRIX [5,2] ← 5

 МАТРИЦА ЗА КОНСТРУИРАНЕ НА ПОДРАВНЯВАНЕТО
 BACKTRACE [5,2] ← T

MATCH = +10 MISMATCH = -2 GAP = -5									
	λ	C	T	C	G	C	A	G	C
λ	0	-5	-10	-15	-20	-25	-30	-35	-40
C	-5	10 D	5 L	0 D	-5 L	-10 D			
A	-10	5 T	8 D	3 D	-2 D				
T	-15	0 T	15 D	10 L					
T	-20	-5 T	10 D						
C	-25	-10 D	5 T						
A	-30	-15 T							
C	-35								

D (diag) (C,T) = 15 - 2 = 13

T (top) (-,T) = 10 - 5 = 5

L (left) (C,-) = 10 - 5 = 5

MAX (D,T,L) = MAX(13,5,5) = 13

MATRIX [4,3] ← 13

МАТРИЦА ЗА КОНСТРУИРАНЕ
НА ПОДРАВНЯВАНЕТО
BACKTRACE [4,3] ← T

MATCH = +10 MISMATCH = -2 GAP = -5									
	λ	C	T	C	G	C	A	G	C
λ	0	-5	-10	-15	-20	-25	-30	-35	-40
C	-5	10 D	5 L	0 D	-5 L	-10 D			
A	-10	5 T	8 D	3 D	-2 D				
T	-15	0 T	15 D	10 L					
T	-20	-5 T	10 D	13 D					
C	-25	-10 D	5 T						
A	-30	-15 T							
C	-35								

D (diag) (G,T) = 3 - 2 = 1
 T (top) (-,T) = -2 - 5 = -7
 L (left) (G,-) = 10 - 5 = 5

MAX (D,T,L) = MAX(1,-7,5) = 5
 MATRIX [3,4] ← 5

МАТРИЦА ЗА КОНСТРУИРАНЕ
 НА ПОДРАВНЯВАНЕТО
 BACKTRACE [3,4] ← L

MATCH = +10 MISMATCH = -2 GAP = -5

	λ	C	T	C	G	C	A	G	C
λ	0	-5	-10	-15	-20	-25	-30	-35	-40
C	-5	10 D	5 L	0 D	-5 L	-10 D			
A	-10	5 T	8 D	3 D	-2 D				
T	-15	0 T	15 D	10 L	5 L				
T	-20	-5 T	10 D	13 D					
C	-25	-10 D	5 T						
A	-30	-15 T							
C	-35								

D (diag) (A,C) = $-5 - 2 = -7$
 T (top) (-,C) = $-10 - 5 = -15$
 L (left) (A,-) = $-2 - 5 = -7$

MAX (D,T,L) = MAX(-7,-15,-7) = -7
 MATRIX [1,6] ← -7

МАТРИЦА ЗА КОНСТРУИРАНЕ
 НА ПОДРАВНЯВАНЕТО
 BACKTRACE [1,6] ← D

MATCH = +10 MISMATCH = -2 GAP = -5

	λ	C	T	C	G	C	A	G	C
λ	0	-5	-10	-15	-20	-25	-30	-35	-40
C	-5	10 D	5 L	0 D	-5 L	-10 D			
A	-10	5 T	8 D	3 D	-2 D	-7 D			
T	-15	0 T	15 D	10 L	5 L				
T	-20	-5 T	10 D	13 D					
C	-25	-10 D	5 T						
A	-30	-15 T							
C	-35								

D (diag) (A,C) = $-25 - 2 = -27$

T (top) (-,A) = $-30 - 5 = -35$

L (left) (A,-) = $-10 - 5 = -15$

MAX (D,T,L) = MAX(-27,-35,-15) = -15

MATRIX [2,6] ← -15

МАТРИЦА ЗА КОНСТРУИРАНЕ
НА ПОДРАВНЯВАНЕТО
BACKTRACE [2,6] ← L

MATCH = +10 MISMATCH = -2 GAP = -5

	λ	C	T	C	G	C	A	G	C
λ	0	-5	-10	-15	-20	-25	-30	-35	-40
C	-5	10 D	5 L	0 D	-5 L	-10 D	-15 L		
A	-10	5 T	8 D	3 D	-2 D	-7 D			
T	-15	0 T	15 D	10 L	5 L				
T	-20	-5 T	10 D	13 D					
C	-25	-10 D	5 T						
A	-30	-15 T							
C	-35								

D (diag) (C,C) = $-30 + 10 = -20$

T (top) (-,C) = $-15 - 5 = -20$

L (left) (C,-) = $-35 - 5 = -40$

MAX (D,T,L) = MAX(-29, -20, -40) = -20

MATRIX [7,1] ← -20

МАТРИЦА ЗА КОНСТРУИРАНЕ
НА ПОДРАВНЯВАНЕТО
BACKTRACE [7,1] ← D

MATCH = +10 MISMATCH = -2 GAP = -5

	λ	C	T	C	G	C	A	G	C
λ	0	-5	-10	-15	-20	-25	-30	-35	-40
C	-5	10 D	5 L	0 D	-5 L	-10 D	-15 L		
A	-10	5 T	8 D	3 D	-2 D	-7 D			
T	-15	0 T	15 D	10 L	5 L				
T	-20	-5 T	10 D	13 D					
C	-25	-10 D	5 T						
A	-30	-15 T							
C	-35	-20 D							

D (diag) (T,A) = $-10 - 2 = -12$

T (top) (-,A) = $5 - 5 = 0$

L (left) (T,-) = $-15 - 5 = -20$

MAX (D,T,L) = MAX(-12,0,-20) = 0

MATRIX [6,2] ← 0

МАТРИЦА ЗА КОНСТРУИРАНЕ
НА ПОДРАВНЯВАНЕТО

BACKTRACE [6,2] ← L

MATCH = +10 MISMATCH = -2 GAP = -5

	λ	C	T	C	G	C	A	G	C
λ	0	-5	-10	-15	-20	-25	-30	-35	-40
C	-5	10 D	5 L	0 D	-5 L	-10 D	-15 L		
A	-10	5 T	8 D	3 D	-2 D	-7 D			
T	-15	0 T	15 D	10 L	5 L				
T	-20	-5 T	10 D	13 D					
C	-25	-10 D	5 T						
A	-30	-15 T	0 T						
C	-35	-20 D							

D (diag) (C,C) = 10 + 10 = 20

T (top) (-,C) = 13 - 5 = 8

L (left) (C,-) = 5 - 5 = 0

MAX (D,T,L) = MAX(20,8,0) = 20

MATRIX [5,3] ← 20

**МАТРИЦА ЗА КОНСТРУИРАНЕ
НА ПОДРАВНЯВАНЕТО**

BACKTRACE [5,3] ← D

MATCH = +10 MISMATCH = -2 GAP = -5

	λ	C	T	C	G	C	A	G	C
λ	0	-5	-10	-15	-20	-25	-30	-35	-40
C	-5	10 D	5 L	0 D	-5 L	-10 D	-15 L		
A	-10	5 T	8 D	3 D	-2 D	-7 D			
T	-15	0 T	15 D	10 L	5 L				
T	-20	-5 T	10 D	13 D					
C	-25	-10 D	5 T	20 D					
A	-30	-15 T	0 T						
C	-35	-20 D							

D (diag) (G,T) = $10 - 2 = 8$

T (top) (-,C) = $5 - 5 = 0$

L (left) (C,-) = $13 - 5 = 8$

MAX (D,T,L) = MAX(8,0,8) = 8

MATRIX [4,4] ← 8

МАТРИЦА ЗА КОНСТРУИРАНЕ
НА ПОДРАВНЯВАНЕТО
BACKTRACE [4,4] ← D

MATCH = +10 MISMATCH = -2 GAP = -5

	λ	C	T	C	G	C	A	G	C
λ	0	-5	-10	-15	-20	-25	-30	-35	-40
C	-5	10D	5L	0D	-5L	-10D	-15L		
A	-10	5T	8D	3D	-2D	-7D			
T	-15	0T	15D	10L	5L				
T	-20	-5T	10D	13D	8D				
C	-25	-10D	5T	20D					
A	-30	-15T	0T						
C	-35	-20D							

D (diag) (C,T) = $-2 - 2 = -4$

T (top) (-,T) = $-7 - 5 = -12$

L (left) (C,-) = $5 - 5 = 0$

MAX (D,T,L) = MAX(-4,-12,0) = 0

MATRIX [3,5] ← 0

МАТРИЦА ЗА КОНСТРУИРАНЕ
НА ПОДРАВНЯВАНЕТО
BACKTRACE [3,5] ← L

MATCH = +10 MISMATCH = -2 GAP = -5

	λ	C	T	C	G	C	A	G	C
λ	0	-5	-10	-15	-20	-25	-30	-35	-40
C	-5	10D	5L	0D	-5L	-10D	-15L		
A	-10	5T	8D	3D	-2D	-7D			
T	-15	0T	15D	10L	5L	0L			
T	-20	-5T	10D	13D	8D				
C	-25	-10D	5T	20D					
A	-30	-15T	0T						
C	-35	-20D							

D (diag) (A,A)= -10 + 10 = 0

T (top) (-,A) = -15 - 5 = -20

L (left) (A,-) = -7 - 5 = -12

MAX (D,T,L) = MAX(0,-20,-12) = 0

MATRIX [2,6] ← 0

МАТРИЦА ЗА КОНСТРУИРАНЕ
НА ПОДРАВНЯВАНЕТО
BACKTRACE [2,6] ← D

MATCH = +10 MISMATCH = -2 GAP = -5

	λ	C	T	C	G	C	A	G	C
λ	0	-5	-10	-15	-20	-25	-30	-35	-40
C	-5	10 D	5 L	0 D	-5 L	-10 D	-15 L		
A	-10	5 T	8 D	3 D	-2 D	-7 D	0 D		
T	-15	0 T	15 D	10 L	5 L	0 L			
T	-20	-5 T	10 D	13 D	8 D	D (diag) (G,C)= -30 -2 = -32 T (top) (-,C) = -35 - 5 = -40 L (left) (G,-) = -15 - 5 = -20			
C	-25	-10 D	5 T	20 D		MAX (D,T,L) = MAX(0,-20,-12) = 0 MATRIX [1,7] ← 0			
A	-30	-15 T	0 T						
C	-35	-20 D				МАТРИЦА ЗА КОНСТРУИРАНЕ НА ПОДРАВНЯВАНЕТО BACKTRACE [1,7] ← L			

MATCH = +10 MISMATCH = -2 GAP = -5

	λ	C	T	C	G	C	A	G	C
λ	0	-5	-10	-15	-20	-25	-30	-35	-40
C	-5	10 D	5 L	0 D	-5 L	-10 D	-15 L	-20 L	
A	-10	5 T	8 D	3 D	-2 D	-7 D	0 D		
T	-15	0 T	15 D	10 L	5 L	0 L			
T	-20	-5 T	10 D	13 D	8 D				
C	-25	-10 D	5 T	20 D					
A	-30	-15 T	0 T						
C	-35	-20 D							

D (diag) (T,C) = $-15 - 2 = -13$

T (top) (-,C) = $0 - 5 = -5$

L (left) (T,-) = $-20 - 5 = -25$

MAX (D,T,L) = MAX(-13,-5,-25) = -5

MATRIX [7,2] ← -5

МАТРИЦА ЗА КОНСТРУИРАНЕ
НА ПОДРАВНЯВАНЕТО
BACKTRACE [7,2] ← T

MATCH = +10 MISMATCH = -2 GAP = -5

	λ	C	T	C	G	C	A	G	C
λ	0	-5	-10	-15	-20	-25	-30	-35	-40
C	-5	10D	5L	0D	-5L	-10D	-15L	-20L	
A	-10	5T	8D	3D	-2D	-7D	0D		
T	-15	0T	15D	10L	5L	0L			
T	-20	-5T	10D	13D	8D				
C	-25	-10D	5T	20D					
A	-30	-15T	0T						
C	-35	-20D	-5T						

D (diag) (C,A) = 5-2 = +3

T (top) (-,A) = 20- 5 = 15

L (left) (C,-) = 0- 5 = -5

MAX (D,T,L) = MAX(3,15,-5) = 15

MATRIX [6,3] ← 15

МАТРИЦА ЗА КОНСТРУИРАНЕ
НА ПОДРАВНЯВАНЕТО
BACKTRACE [6,3] ← T

MATCH = +10 MISMATCH = -2 GAP = -5

	λ	C	T	C	G	C	A	G	C
λ	0	-5	-10	-15	-20	-25	-30	-35	-40
C	-5	10 D	5 L	0 D	-5 L	-10 D	-15 L	-20 L	
A	-10	5 T	8 D	3 D	-2 D	-7 D	0 D		
T	-15	0 T	15 D	10 L	5 L	0 L			
T	-20	-5 T	10 D	13 D	8 D				
C	-25	-10 D	5 T	20 D					
A	-30	-15 T	0 T	15 T					
C	-35	-20 D	-5 T						

D (diag) (G,C) = $13 - 2 = +11$

T (top) (-,C) = $8 - 5 = 3$

L (left) (G,-) = $20 - 5 = 15$

MAX (D,T,L) = MAX(11,3,15) = 15

MATRIX [5,4] ← 15

МАТРИЦА ЗА
КОНСТРУИРАНЕ НА
ПОДРАВНЯВАНЕТО
BACKTRACE [5,4] ← L

MATCH = +10 MISMATCH = -2 GAP = -5

	λ	C	T	C	G	C	A	G	C
λ	0	-5	-10	-15	-20	-25	-30	-35	-40
C	-5	10 D	5 L	0 D	-5 L	-10 D	-15 L	-20 L	
A	-10	5 T	8 D	3 D	-2 D	-7 D	0 D		
T	-15	0 T	15 D	10 L	5 L	0 L			
T	-20	-5 T	10 D	13 D	8 D				
C	-25	-10 D	5 T	20 D	15 L				
A	-30	-15 T	0 T	15 T					
C	-35	-20 D	-5 T						

D (diag) (C,T) = 5 - 2 = +3

T (top) (-,T) = 0 - 5 = -5

L (left) (C,-) = 8 - 5 = 3

MAX (D,T,L) = MAX(3,-5,3) = 3

MATRIX [4,5] ← 3

МАТРИЦА ЗА
КОНСТРУИРАНЕ НА
ПОДРАВНЯВАНЕТО
BACKTRACE [4,5] ← D

MATCH = +10 MISMATCH = -2 GAP = -5

	λ	C	T	C	G	C	A	G	C
λ	0	-5	-10	-15	-20	-25	-30	-35	-40
C	-5	10 D	5 L	0 D	-5 L	-10 D	-15 L	-20 L	
A	-10	5 T	8 D	3 D	-2 D	-7 D	0 D		
T	-15	0 T	15 D	10 L	5 L	0 L			
T	-20	-5 T	10 D	13 D	8 D	3 D	D (diag) (A,T)= -7-2 = -9 T (top) (-,T) = 0- 5 = -5 L (left) (A,-) = 0- 5 = -5 MAX (D,T,L) = MAX(-9,-5,-5) = -5 MATRIX [3,6] ← -5		
C	-25	-10 D	5 T	20 D	15 L				
A	-30	-15 T	0 T	15 T					
C	-35	-20 D	-5 T				МАТРИЦА ЗА КОНСТРУИРАНЕ НА ПОДРАВНЯВАНЕТО BACKTRACE [3,6] ← L		

MATCH = +10 MISMATCH = -2 GAP = -5

	λ	C	T	C	G	C	A	G	C
λ	0	-5	-10	-15	-20	-25	-30	-35	-40
C	-5	10 D	5 L	0 D	-5 L	-10 D	-15 L	-20 L	
A	-10	5 T	8 D	3 D	-2 D	-7 D	0 D		
T	-15	0 T	15 D	10 L	5 L	0 L	-5 L		
T	-20	-5 T	10 D	13 D	8 D	3 D			
C	-25	-10 D	5 T	20 D	15 L				
A	-30	-15 T	0 T	15 T					
C	-35	-20 D	-5 T						

D (diag) (G,A) = $-15 - 2 = -17$

T (top) (-,A) = $-20 - 5 = -25$

L (left) (G,-) = $0 - 5 = -5$

MAX (D,T,L) = MAX(-17,-25,-5) = -5

MATRIX [2,7] ← -5

МАТРИЦА ЗА
КОНСТРУИРАНЕ НА
ПОДРАВНЯВАНЕТО
BACKTRACE [2,7] ← L

MATCH = +10 MISMATCH = -2 GAP = -5

	λ	C	T	C	G	C	A	G	C
λ	0	-5	-10	-15	-20	-25	-30	-35	-40
C	-5	10 D	5 L	0 D	-5 L	-10 D	-15 L	-20 L	
A	-10	5 T	8 D	3 D	-2 D	-7 D	0 D	-5 L	
T	-15	0 T	15 D	10 L	5 L	0 L	-5 L		
T	-20	-5 T	10 D	13 D	8 D	3 D	D (C,C)= -35+10 = -25 T (-,C) = -40- 5 = -45		
C	-25	-10 D	5 T	20 D	15 L		L (C,-) = -20- 5 = -25		
A	-30	-15 T	0 T	15 T			MAX (D,T,L) = MAX(-25,-45,-25) = -25 MATRIX [1,8] ← -25		
C	-35	-20 D	-5 T				BACKTRACE [1,8] ← D		

MATCH = +10 MISMATCH = -2 GAP = -5

	λ	C	T	C	G	C	A	G	C
λ	0	-5	-10	-15	-20	-25	-30	-35	-40
C	-5	10 D	5 L	0 D	-5 L	-10 D	-15 L	-20 L	-25 D
A	-10	5 T	8 D	3 D	-2 D	-7 D	0 D	-5 L	
T	-15	0 T	15 D	10 L	5 L	0 L	-5 L		
T	-20	-5 T	10 D	13 D	8 D	3 D		D (C,C) = 0+10 = 10 T (-,C) = 15- 5 = 10	
C	-25	-10 D	5 T	20 D	15 L			L (C,-) = -5- 5 = -10	
A	-30	-15 T	0 T	15 T				MAX (D,T,L) = MAX(10,10,-10) = 10 MATRIX [7,3] ← 10	
C	-35	-20 D	-5 T					BACKTRACE [7,3] ← D	

MATCH = +10 MISMATCH = -2 GAP = -5

	λ	C	T	C	G	C	A	G	C
λ	0	-5	-10	-15	-20	-25	-30	-35	-40
C	-5	10 D	5 L	0 D	-5 L	-10 D	-15 L	-20 L	-25 D
A	-10	5 T	8 D	3 D	-2 D	-7 D	0 D	-5 L	
T	-15	0 T	15 D	10 L	5 L	0 L	-5 L		
T	-20	-5 T	10 D	13 D	8 D	3 D		D (G,A) = 20 - 2 = 18	
C	-25	-10 D	5 T	20 D	15 L			T (-,A) = 15 - 5 = 10	
A	-30	-15 T	0 T	15 T				L (G,-) = 15 - 5 = 10	
C	-35	-20 D	-5 T	10 D					

MAX (D,T,L) =
 $\text{MAX(18,10,10) = 18}$
 $\text{MATRIX [6,4]} \leftarrow 18$

$\text{BACKTRACE [6,4]} \leftarrow \text{D}$

MATCH = +10 MISMATCH = -2 GAP = -5

	λ	C	T	C	G	C	A	G	C
λ	0	-5	-10	-15	-20	-25	-30	-35	-40
C	-5	10 D	5 L	0 D	-5 L	-10 D	-15 L	-20 L	-25 D
A	-10	5 T	8 D	3 D	-2 D	-7 D	0 D	-5 L	
T	-15	0 T	15 D	10 L	5 L	0 L	-5 L		
T	-20	-5 T	10 D	13 D	8 D	3 D			
C	-25	-10 D	5 T	20 D	15 L				
A	-30	-15 T	0 T	15 T	18 D				
C	-35	-20 D	-5 T	10 D					

D (C,C) = 8 + 10 = 18

T (-,C) = 3 - 5 = -2

L (C,-) = 15 - 5 = 10

MAX (D,T,L) = 18

MATRIX [5,5] ← 18

BACKTRACE [5,5] ← D

MATCH = +10 MISMATCH = -2 GAP = -5

	λ	C	T	C	G	C	A	G	C
λ	0	-5	-10	-15	-20	-25	-30	-35	-40
C	-5	10 D	5 L	0 D	-5 L	-10 D	-15 L	-20 L	-25 D
A	-10	5 T	8 D	3 D	-2 D	-7 D	0 D	-5 L	
T	-15	0 T	15 D	10 L	5 L	0 L	-5 L		
T	-20	-5 T	10 D	13 D	8 D	3 D			
C	-25	-10 D	5 T	20 D	15 L	18 D			
A	-30	-15 T	0 T	15 T	18 D				
C	-35	-20 D	-5 T	10 D					

D (A,T) = 0 - 2 = -2
T (-,T) = -5 - 5 = -10

L (A,-) = 3 - 5 = -2


MAX (D,T,L) = -2
MATRIX [4,6] ← -2

BACKTRACE [4,6] ← D

MATCH = +10 MISMATCH = -2 GAP = -5

	λ	C	T	C	G	C	A	G	C
λ	0	-5	-10	-15	-20	-25	-30	-35	-40
C	-5	10 D	5 L	0 D	-5 L	-10 D	-15 L	-20 L	-25 D
A	-10	5 T	8 D	3 D	-2 D	-7 D	0 D	-5 L	
T	-15	0 T	15 D	10 L	5 L	0 L	-5 L		
T	-20	-5 T	10 D	13 D	8 D	3 D	-2 D	D (G,T) = 0 - 2 = -2 T (-,T) = -5 - 5 = -10 L (G,-) = -5 - 5 = -10 MAX (D,T,L) = -2 MATRIX [3,7] ← -2	
C	-25	-10 D	5 T	20 D	15 L	18 D			
A	-30	-15 T	0 T	15 T	18 D				
C	-35	-20 D	-5 T	10 D				BACKTRACE [3,7] ← D	

MATCH = +10 MISMATCH = -2 GAP = -5

	λ	C	T	C	G	C	A	G	C
λ	0	-5	-10	-15	-20	-25	-30	-35	-40
C	-5	10 D	5 L	0 D	-5 L	-10 D	-15 L	-20 L	-25 D
A	-10	5 T	8 D	3 D	-2 D	-7 D	0 D	-5 L	
T	-15	0 T	15 D	10 L	5 L	0 L	-5 L	-2 D	
T	-20	-5 T	10 D	13 D	8 D	3 D	-2 D	$D(C,A) = -20 - 2 = -22$ $T(-,A) = -25 - 5 = -30$ $L(C,-) = -5 - 5 = -10$ $MAX(D,T,L) = -10$ MATRIX [2,8] ← -10	
C	-25	-10 D	5 T	20 D	15 L	18 D			
A	-30	-15 T	0 T	15 T	18 D				
C	-35	-20 D	-5 T	10 D				BACKTRACE [2,8] ← L	

MATCH = +10 MISMATCH = -2 GAP = -5

	λ	C	T	C	G	C	A	G	C
λ	0	-5	-10	-15	-20	-25	-30	-35	-40
C	-5	10 D	5 L	0 D	-5 L	-10 D	-15 L	-20 L	-25 D
A	-10	5 T	8 D	3 D	-2 D	-7 D	0 D	-5 L	-10 L
T	-15	0 T	15 D	10 L	5 L	0 L	-5 L	-2 D	
T	-20	-5 T	10 D	13 D	8 D	3 D	-2 D		
C	-25	-10 D	5 T	20 D	15 L	18 D			
A	-30	-15 T	0 T	15 T	18 D				
C	-35	-20 D	-5 T	10 D					

$D(G, C) = 15 - 2 = 13$
 $T(-, C) = 18 - 5 = 13$
 $L(G, -) = 10 - 5 = 5$

$\text{MAX}(D, T, L) = 13$
 $\text{MATRIX}[7, 4] \leftarrow 13$

BACKTRACE [7, 4] ← D

MATCH = +10 MISMATCH = -2 GAP = -5

	λ	C	T	C	G	C	A	G	C
λ	0	-5	-10	-15	-20	-25	-30	-35	-40
C	-5	10 D	5 L	0 D	-5 L	-10 D	-15 L	-20 L	-25 D
A	-10	5 T	8 D	3 D	-2 D	-7 D	0 D	-5 L	-10 L
T	-15	0 T	15 D	10 L	5 L	0 L	-5 L	-2 D	
T	-20	-5 T	10 D	13 D	8 D	3 D	-2 D		
C	-25	-10 D	5 T	20 D	15 L	18 D			
A	-30	-15 T	0 T	15 T	18 D				
C	-35	-20 D	-5 T	10 D	13 D				

D (C,A) = 15 - 2 = 13

T (-,A) = 18 - 5 = 13

L (C,-) = 18 - 5 = 13

MAX (D,T,L) = 13

MATRIX [6,5] ← 13

BACKTRACE [6,5] ← D

MATCH = +10 MISMATCH = -2 GAP = -5

	λ	C	T	C	G	C	A	G	C
λ	0	-5	-10	-15	-20	-25	-30	-35	-40
C	-5	10 D	5 L	0 D	-5 L	-10 D	-15 L	-20 L	-25 D
A	-10	5 T	8 D	3 D	-2 D	-7 D	0 D	-5 L	-10 L
T	-15	0 T	15 D	10 L	5 L	0 L	-5 L	-2 D	
T	-20	-5 T	10 D	13 D	8 D	3 D	-2 D		
C	-25	-10 D	5 T	20 D	15 L	18 D			
A	-30	-15 T	0 T	15 T	18 D	13 D			
C	-35	-20 D	-5 T	10 D	13 D				

D (C,A) = 15 - 2 = 13

T (-,A) = 18 - 5 = 13

L (C,-) = 18 - 5 = 13

MAX (D,T,L) = 13

MATRIX [5,6] ← 13

BACKTRACE [5,6] ← D

MATCH = +10 MISMATCH = -2 GAP = -5


	λ	C	T	C	G	C	A	G	C
λ	0	-5	-10	-15	-20	-25	-30	-35	-40
C	-5	10 D	5 L	0 D	-5 L	-10 D	-15 L	-20 L	-25 D
A	-10	5 T	8 D	3 D	-2 D	-7 D	0 D	-5 L	-10 L
T	-15	0 T	15 D	10 L	5 L	0 L	-5 L	-2 D	
T	-20	-5 T	10 D	13 D	8 D	3 D	-2 D		
C	-25	-10 D	5 T	20 D	15 L	18 D	13 D		
A	-30	-15 T	0 T	15 T	18 D	13 D			
C	-35	-20 D	-5 T	10 D	13 D				

D (G,T) = -5 - 2 = -7
T (-,T) = -2 - 5 = -7
L (G,-) = -2 - 5 = -7

MAX (D,T,L) = -7
 MATRIX [4,7] ← -7

BACKTRACE [4,7] ← D

MATCH = +10 MISMATCH = -2 GAP = -5

	λ	C	T	C	G	C	A	G	C
λ	0	-5	-10	-15	-20	-25	-30	-35	-40
C	-5	10 D	5 L	0 D	-5 L	-10 D	-15 L	-20 L	-25 D
A	-10	5 T	8 D	3 D	-2 D	-7 D	0 D	-5 L	-10 L
T	-15	0 T	15 D	10 L	5 L	0 L	-5 L	-2 D	
T	-20	-5 T	10 D	13 D	8 D	3 D	-2 D	-7 D	D (C,T) = -5-2 = -7 T (-,T) = -10-5 = -15
C	-25	-10 D	5 T	20 D	15 L	18 D	13 D		L (C,-) = -2-5 = -7
A	-30	-15 T	0 T	15 T	18 D	13 D			MAX (D,T,L) = -7 MATRIX [3,8] ← -7
C	-35	-20 D	-5 T	10 D	13 D				BACKTRACE [3,8] ← D

MATCH = +10 MISMATCH = -2 GAP = -5

	λ	C	T	C	G	C	A	G	C
λ	0	-5	-10	-15	-20	-25	-30	-35	-40
C	-5	10 D	5 L	0 D	-5 L	-10 D	-15 L	-20 L	-25 D
A	-10	5 T	8 D	3 D	-2 D	-7 D	0 D	-5 L	-10 L
T	-15	0 T	15 D	10 L	5 L	0 L	-5 L	-2 D	-7 D
T	-20	-5 T	10 D	13 D	8 D	3 D	-2 D	-7 D	
C	-25	-10 D	5 T	20 D	15 L	18 D	13 D		
A	-30	-15 T	0 T	15 T	18 D	13 D			
C	-35	-20 D	-5 T	10 D	13 D				

D (C,C) = 18 + 10 = 28

T (-,C) = 13 - 5 = 8

L (C,-) = 13 - 5 = 8

MAX (D,T,L) = 28

MATRIX [7,5] ← 28

BACKTRACE [7,5] ← D

MATCH = +10 MISMATCH = -2 GAP = -5

	λ	C	T	C	G	C	A	G	C
λ	0	-5	-10	-15	-20	-25	-30	-35	-40
C	-5	10 D	5 L	0 D	-5 L	-10 D	-15 L	-20 L	-25 D
A	-10	5 T	8 D	3 D	-2 D	-7 D	0 D	-5 L	-10 L
T	-15	0 T	15 D	10 L	5 L	0 L	-5 L	-2 D	-7 D
T	-20	-5 T	10 D	13 D	8 D	3 D	-2 D	-7 D	
C	-25	-10 D	5 T	20 D	15 L	18 D	13 D		
A	-30	-15 T	0 T	15 T	18 D	13 D			
C	-35	-20 D	-5 T	10 D	13 D	28 D			

D (A,A) = 18+10 = 28

T (-,A) = 13- 5 = 8

L (A,-) = 13- 5 = 8

MAX (D,T,L) = 28

MATRIX [6,6] ← 28

BACKTRACE [6,6] ← D

MATCH = +10 MISMATCH = -2 GAP = -5

	λ	C	T	C	G	C	A	G	C
λ	0	-5	-10	-15	-20	-25	-30	-35	-40
C	-5	10 D	5 L	0 D	-5 L	-10 D	-15 L	-20 L	-25 D
A	-10	5 T	8 D	3 D	-2 D	-7 D	0 D	-5 L	-10 L
T	-15	0 T	15 D	10 L	5 L	0 L	-5 L	-2 D	-7 D
T	-20	-5 T	10 D	13 D	8 D	3 D	-2 D	-7 D	
C	-25	-10 D	5 T	20 D	15 L	18 D	13 D		
A	-30	-15 T	0 T	15 T	18 D	13 D	28 D		
C	-35	-20 D	-5 T	10 D	13 D	28 D			

$D(G,C) = -2 - 2 = -4$
 $T(-,C) = -7 - 5 = -12$
 $L(G,-) = 13 - 5 = 8$

MAX (D,T,L) = 8

MATRIX [5,7] ← 8
BACKTRACE [5,7] ← T

MATCH = +10 MISMATCH = -2 GAP = -5

	λ	C	T	C	G	C	A	G	C
λ	0	-5	-10	-15	-20	-25	-30	-35	-40
C	-5	10	5	0	-5	-10	-15	-20	-25
A	-10	5	8	3	-2	-7	0	-5	-10
T	-15	0	15	10	5	0	-5	-2	-7
T	-20	-5	10	13	8	3	-2	-7	
C	-25	-10	5	20	15	18	13	8	
A	-30	-15	0	15	18	13	28		
C	-35	-20	-5	10	13	28			

D (C,T) = -2-2 = -4

T (-,T) = -7-5 = -12

L (C,-) = -7-5 = -12

MAX (D,T,L) = -4

MATRIX [4,8] ← -4

BACKTRACE [4,8] ← D

MATCH = +10 MISMATCH = -2 GAP = -5

	λ	C	T	C	G	C	A	G	C
λ	0	-5	-10	-15	-20	-25	-30	-35	-40
C	-5	10 D	5 L	0 D	-5 L	-10 D	-15 L	-20 L	-25 D
A	-10	5 T	8 D	3 D	-2 D	-7 D	0 D	-5 L	-10 L
T	-15	0 T	15 D	10 L	5 L	0 L	-5 L	-2 D	-7 D
T	-20	-5 T	10 D	13 D	8 D	3 D	-2 D	-7 D	-4 D
C	-25	-10 D	5 T	20 D	15 L	18 D	13 D	8 T	
A	-30	-15 T	0 T	15 T	18 D	13 D	28 D		
C	-35	-20 D	-5 T	10 D	13 D	28 D			

D (A,C)=13-2 = 11

T (-,T) = 28- 5 = 23

L (C,-) = 28- 5 = 23

MAX (D,T,L) = 23

MATRIX [7,6] ← 23

BACKTRACE [7,6]←L

MATCH = +10 MISMATCH = -2 GAP = -5

	λ	C	T	C	G	C	A	G	C
λ	0	-5	-10	-15	-20	-25	-30	-35	-40
C	-5	10 D	5 L	0 D	-5 L	-10 D	-15 L	-20 L	-25 D
A	-10	5 T	8 D	3 D	-2 D	-7 D	0 D	-5 L	-10 L
T	-15	0 T	15 D	10 L	5 L	0 L	-5 L	-2 D	-7 D
T	-20	-5 T	10 D	13 D	8 D	3 D	-2 D	-7 D	-4 D
C	-25	-10 D	5 T	20 D	15 L	18 D	13 D	8 T	
A	-30	-15 T	0 T	15 T	18 D	13 D	28 D		
C	-35	-20 D	-5 T	10 D	13 D	28 D	23 L		

$D(G,A) = 13 - 2 = 11$

$T(-,A) = 8 - 5 = 3$

$L(G,-) = 28 - 5 = 23$

$\text{MAX}(D,T,L) = 23$

$\text{MATRIX}[6,7] \leftarrow 23$

$\text{BACKTRACE}[6,7] \leftarrow L$

MATCH = +10 MISMATCH = -2 GAP = -5

	λ	C	T	C	G	C	A	G	C
λ	0	-5	-10	-15	-20	-25	-30	-35	-40
C	-5	10 D	5 L	0 D	-5 L	-10 D	-15 L	-20 L	-25 D
A	-10	5 T	8 D	3 D	-2 D	-7 D	0 D	-5 L	-10 L
T	-15	0 T	15 D	10 L	5 L	0 L	-5 L	-2 D	-7 D
T	-20	-5 T	10 D	13 D	8 D	3 D	-2 D	-7 D	-4 D
C	-25	-10 D	5 T	20 D	15 L	18 D	13 D	8 T	
A	-30	-15 T	0 T	15 T	18 D	13 D	28 D	23 L	
C	-35	-20 D	-5 T	10 D	13 D	28 D	23 L		

D (C,C) = -7 + 10 = 3

T (-,C) = -4 - 5 = -9

L (C,-) = 8 - 5 = 3

MAX (D,T,L) = 3

MATRIX [5,8] ← 3

BACKTRACE [5,8] ← D

MATCH = +10 MISMATCH = -2 GAP = -5

	λ	C	T	C	G	C	A	G	C
λ	0	-5	-10	-15	-20	-25	-30	-35	-40
C	-5	10 D	5 L	0 D	-5 L	-10 D	-15 L	-20 L	-25 D
A	-10	5 T	8 D	3 D	-2 D	-7 D	0 D	-5 L	-10 L
T	-15	0 T	15 D	10 L	5 L	0 L	-5 L	-2 D	-7 D
T	-20	-5 T	10 D	13 D	8 D	3 D	-2 D	-7 D	-4 D
C	-25	-10 D	5 T	20 D	15 L	18 D	13 D	8 T	3 D
A	-30	-15 T	0 T	15 T	18 D	13 D	28 D	23 L	
C	-35	-20 D	-5 T	10 D	13 D	28 D	23 L		

D (G,C) = -28 - 2 = 26

T (-,C) = 23 - 5 = 18

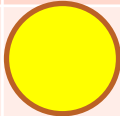
L (G,-) = 23 - 5 = 18

MAX (D,T,L) = 26

MATRIX [7,7] ← 26

BACKTRACE [7,7] ← D

MATCH = +10 MISMATCH = -2 GAP = -5

	λ	C	T	C	G	C	A	G	C
λ	0	-5	-10	-15	-20	-25	-30	-35	-40
C	-5	10 D	5 L	0 D	-5 L	-10 D	-15 L	-20 L	-25 D
A	-10	5 T	8 D	3 D	-2 D	-7 D	0 D	-5 L	-10 L
T	-15	0 T	15 D	10 L	5 L	0 L	-5 L	-2 D	-7 D
T	-20	-5 T	10 D	13 D	8 D	3 D	-2 D	-7 D	-4 D
C	-25	-10 D	5 T	20 D	15 L	18 D	13 D	8 T	3 D
A	-30	-15 T	0 T	15 T	18 D	13 D	28 D	23 L	
C	-35	-20 D	-5 T	10 D	13 D	28 D	23 L	26 D	

$D(C,A) = -8 - 2 = 6$

$T(-,A) = 3 - 5 = -2$


$L(C,-) = 23 - 5 = 18$

$\text{MAX}(D,T,L) = 18$

$\text{MATRIX}[6,8] \leftarrow 18$

$\text{BACKTRACE}[6,8] \leftarrow L$

MATCH = +10 MISMATCH = -2 GAP = -5

	λ	C	T	C	G	C	A	G	C
λ	0	-5	-10	-15	-20	-25	-30	-35	-40
C	-5	10 D	5 L	0 D	-5 L	-10 D	-15 L	-20 L	-25 D
A	-10	5 T	8 D	3 D	-2 D	-7 D	0 D	-5 L	-10 L
T	-15	0 T	15 D	10 L	5 L	0 L	-5 L	-2 D	-7 D
T	-20	-5 T	10 D	13 D	8 D	3 D	-2 D	-7 D	-4 D
C	-25	-10 D	5 T	20 D	15 L	18 D	13 D	8 T	3 D
A	-30	-15 T	0 T	15 T	18 D	13 D	28 D	23 L	18 L
C	-35	-20 D	-5 T	10 D	13 D	28 D	23 L	26 D	

D (C,C) = -23 + 10 = 33

T (-,C) = 18 - 5 = 13

L (C,-) = 26 - 5 = 21

MAX (D,T,L) = 33

MATRIX [7,8] ← 33

BACKTRACE [7,8] ← D

MATCH = +10 MISMATCH = -2 GAP = -5

	λ	C	T	C	G	C	A	G	C
λ	0	-5	-10	-15	-20	-25	-30	-35	-40
C	-5	10 D	5 L	0 D	-5 L	-10 D	-15 L	-20 L	-25 D
A	-10	5 T	8 D	3 D	-2 D	-7 D	0 D	-5 L	-10 L
T	-15	0 T	15 D	10 L	5 L	0 L	-5 L	-2 D	-7 D
T	-20	-5 T	10 D	13 D	8 D	3 D	-2 D	-7 D	-4 D
C	-25	-10 D	5 T	20 D	15 L	18 D	13 D	8 T	3 D
A	-30	-15 T	0 T	15 T	18 D	13 D	28 D	23 L	18 L
C	-35	-20 D	-5 T	10 D	13 D	28 D	23 L	26 D	33 D

MATCH = +10 MISMATCH = -2 GAP = -5

СТЫЛКА 3

BACKTRACE &
ALIGNMENT

Sequence 1

Sequence 2

D → X X
T → - X
L → X -

	λ	C	T	C	G	C	A	G	C
λ	0	-5	-10	-15	-20	-25	-30	-35	-40
C	-5	10	5	0	-5	-10	-15	-20	-25
		D	L	D	L	D	L	L	D
A	-10	5	8	3	-2	-7	0	-5	-10
		T	D	D	D	D	D	L	L
T	-15	0	15	10	5	0	-5	-2	-7
		T	D	L	L	L	L	D	D
T	-20	-5	10	13	8	3	-2	-7	-4
		T	D	D	D	D	D	D	D
C	-25	-10	5	20	15	18	13	8	3
		D	T	D	L	D	D	T	D
A	-30	-15	0	15	18	13	28	23	18
		T	T	T	D	D	D	L	L
C	-35	-20	-5	10	13	28	23	26	33
		D	T	D	D	D	L	D	D

ALIGNMENT DIRECTION →
RIGHT TO LEFT OF
SEQUENCES

								C
								C

MATCH = +10 MISMATCH = -2 GAP = -5

СТЫЛКА 3

BACKTRACE &
ALIGNMENT

Sequence 1

Sequence 2

D → X X
T → - X
L → X -

	λ	C	T	C	G	C	A	G	C
λ	0	-5	-10	-15	-20	-25	-30	-35	-40
C	-5	10	5	0	-5	-10	-15	-20	-25
		D	L	D	L	D	L	L	D
A	-10	5	8	3	-2	-7	0	-5	-10
		T	D	D	D	D	D	L	L
T	-15	0	15	10	5	0	-5	-2	-7
		T	D	L	L	L	L	D	D
T	-20	-5	10	13	8	3	-2	-7	-4
		T	D	D	D	D	D	D	D
C	-25	-10	5	20	15	18	13	8	3
		D	T	D	L	D	D	T	D
A	-30	-15	0	15	18	13	28	23	18
GAP		T	T	T	D	D	D	L	L
C	-35	-20	-5	10	13	28	23	26	33
		D	T	D	D	D	L	D	D

ALIGNMENT DIRECTION →
RIGHT TO LEFT OF
SEQUENCES

							G	C
							-	C

MATCH = +10 MISMATCH = -2 GAP = -5

СТЫЛКА 3

BACKTRACE &
ALIGNMENT

Sequence 1

Sequence 2

D → X X
T → - X
L → X -

	λ	C	T	C	G	C	A	G	C
λ	0	-5	-10	-15	-20	-25	-30	-35	-40
C	-5	10	5	0	-5	-10	-15	-20	-25
		D	L	D	L	D	L	L	D
A	-10	5	8	3	-2	-7	0	-5	-10
		T	D	D	D	D	D	L	L
T	-15	0	15	10	5	0	-5	-2	-7
		T	D	L	L	L	L	D	D
T	-20	-5	10	13	8	3	-2	-7	-4
		T	D	D	D	D	D	D	D
C	-25	-10	5	20	15	18	13	8	3
		D	T	D	L	D	D	T	D
A GAP	-30	-15	0	15	18	13	28	23	18
		T	T	T	D	D	D	L	L
C	-35	-20	-5	10	13	28	23	26	33
		D	T	D	D	D	L	D	D

ALIGNMENT DIRECTION →
RIGHT TO LEFT OF
SEQUENCES

						A	G	C
						A	-	C

MATCH = +10 MISMATCH = -2 GAP = -5

СТЫЛКА 3

BACKTRACE &
ALIGNMENT

Sequence 1
Sequence 2

D → X X
T → - X
L → X -

	λ	C	T	C	G	C	A	G	C
λ	0	-5	-10	-15	-20	-25	-30	-35	-40
C	-5	10	5	0	-5	-10	-15	-20	-25
		D	L	D	L	D	L	L	D
A	-10	5	8	3	-2	-7	0	-5	-10
		T	D	D	D	D	D	L	L
T	-15	0	15	10	5	0	-5	-2	-7
		T	D	L	L	L	L	D	D
T	-20	-5	10	13	8	3	-2	-7	-4
		T	D	D	D	D	D	D	D
C	-25	-10	5	20	15	18	13	8	3
		D	T	D	L	D	D	T	D
A	-30	-15	0	15	18	13	28	23	18
GAP		T	T	T	D	D	D	L	L
C	-35	-20	-5	10	13	28	23	26	33
		D	T	D	D	D	L	D	D

ALIGNMENT DIRECTION →
RIGHT TO LEFT OF
SEQUENCES

					C	A	G	C
					C	A	-	C

MATCH = +10 MISMATCH = -2 GAP = -5

СТЫЛКА 3

BACKTRACE &
ALIGNMENT

Sequence 1

Sequence 2

D → X X
T → - X
L → X -

	λ	C	T	C	G	C	A	G	C
λ	0	-5	-10	-15	-20	-25	-30	-35	-40
C	-5	10	5	0	-5	-10	-15	-20	-25
		D	L	D	L	D	L	L	D
A	-10	5	8	3	-2	-7	0	-5	-10
		T	D	D	D	D	D	L	L
T	-15	0	15	10	5	0	-5	-2	-7
		T	D	L	L	L	L	D	D
T	-20	-5	10	13	8	3	-2	-7	-4
		T	D	D	D	D	D	D	D
C	-25	-10	5	20	15	18	13	8	3
		D	T	D	L	D	D	T	D
A	-30	-15	0	15	18	13	28	23	18
GAP		T	T	T	D	D	D	L	L
C	-35	-20	-5	10	13	28	23	26	33
		D	T	D	D	D	L	D	D

ALIGNMENT DIRECTION →
RIGHT TO LEFT OF
SEQUENCES

				G	C	A	G	C
				T	C	A	-	C

MATCH = +10 MISMATCH = -2 GAP = -5

СТЫЛКА 3

BACKTRACE &
ALIGNMENT

Sequence 1

Sequence 2

D → X X

T → - X

L → X -

	λ	C	T	C	G	C	A	G	C
λ	0	-5	-10	-15	-20	-25	-30	-35	-40
C	-5	10	5	0	-5	-10	-15	-20	-25
		D	L	D	L	D	L	L	D
A	-10	5	8	3	-2	-7	0	-5	-10
		T	D	D	D	D	D	L	L
T	-15	0	15	10	5	0	-5	-2	-7
GAP		T	D	L	L	L	L	D	D
T	-20	-5	10	13	8	3	-2	-7	-4
		T	D	D	D	D	D	D	D
C	-25	-10	5	20	15	18	13	8	3
		D	T	D	L	D	D	T	D
A	-30	-15	0	15	18	13	28	23	18
GAP		T	T	T	D	D	D	L	L
C	-35	-20	-5	10	13	28	23	26	33
		D	T	D	D	D	L	D	D

ALIGNMENT DIRECTION →
RIGHT TO LEFT OF
SEQUENCES

			C	G	C	A	G	C
			-	T	C	A	-	C

MATCH = +10 MISMATCH = -2 GAP = -5

СТЫЛКА 3

BACKTRACE &
ALIGNMENT

Sequence 1
Sequence 2

D → X X
T → - X
L → X -

	λ	C	T	C	G	C	A	G	C
λ	0	-5	-10	-15	-20	-25	-30	-35	-40
C	-5	10	5	0	-5	-10	-15	-20	-25
		D	L	D	L	D	L	L	D
A	-10	5	8	3	-2	-7	0	-5	-10
		T	D	D	D	D	D	L	L
T	-15	0	15	10	5	0	-5	-2	-7
GAP		T	D	L	L	L	L	D	D
T	-20	-5	10	13	8	3	-2	-7	-4
		T	D	D	D	D	D	D	D
C	-25	-10	5	20	15	18	13	8	3
		D	T	D	L	D	D	T	D
A	-30	-15	0	15	18	13	28	23	18
GAP		T	T	T	D	D	D	L	L
C	-35	-20	-5	10	13	28	23	26	33
		D	T	D	D	D	L	D	D

ALIGNMENT DIRECTION →
RIGHT TO LEFT OF
SEQUENCES

		T	C	G	C	A	G	C
		T	-	T	C	A	-	C

MATCH = +10 MISMATCH = -2 GAP = -5

СТЫЛКА 3

BACKTRACE &
ALIGNMENT

Sequence 1

Sequence 2

D → X X
T → - X
L → X -

	λ	C GAP	T	C	G	C	A	G	C
λ	0	-5	-10	-15	-20	-25	-30	-35	-40
C	-5	10 D	5 L	0 D	-5 L	-10 D	-15 L	-20 L	-25 D
A	-10	5 T	8 D	3 D	-2 D	-7 D	0 D	-5 L	-10 L
T GAP	-15	0 T	15 D	-10 L	5 L	0 L	-5 L	-2 D	-7 D
T	-20	-5 T	10 D	13 D	8 D	3 D	-2 D	-7 D	-4 D
C	-25	-10 D	5 T	20 D	15 L	18 D	13 D	8 T	3 D
A GAP	-30	-15 T	0 T	15 T	18 D	13 D	28 D	23 L	18 L
C	-35	-20 D	-5 T	10 D	13 D	28 D	23 L	26 D	33 D

	-	T	C	G	C	A	G	C
	A	T	-	T	C	A	-	C

MATCH = +10 MISMATCH = -2 GAP = -5

СТЫЛКА 3

BACKTRACE &
ALIGNMENT

Sequence 1

Sequence 2

D → X X

T → - X

L → X -

	λ	C GAP	T	C	G	C	A	G	C
λ	0	-5	-10	-15	-20	-25	-30	-35	-40
C	-5	10	5	0	-5	-10	-15	-20	-25
A	-10	5	8	3	-2	-7	0	-5	-10
T	-15	0	15	10	5	0	-5	-2	-7
GAP		T	D	L	L	L	L	D	D
T	-20	-5	10	13	8	3	-2	-7	-4
C	-25	-10	5	20	15	18	13	8	3
A	-30	-15	0	15	18	13	28	23	18
GAP		T	T	T	D	D	D	L	L
C	-35	-20	-5	10	13	28	23	26	33
		D	T	D	D	D	T	D	D

C	-	T	C	G	C	A	G	C
C	A	T	-	T	C	A	-	C

MATCH = +10 MISMATCH = -2 GAP = -5

СТЫЛКА 3

BACKTRACE &
ALIGNMENT

Sequence 1

Sequence 2

D → X X
T → - X
L → X -

MATCHES 5x10=50

MISMATCHES

1x (-2) = -2

GAPS 3x (-5) = -15

TOTAL 50-2-15 = 33

	λ	C	T	C	G	C	A	G	C
λ	DONE 0	-5	-10	-15	-20	-25	-30	-35	-40
C	-5	10	5	0	-5	-10	-15	-20	-25
A	-10	5	8	3	-2	-7	0	-5	-10
T	-15	0	15	10	5	0	-5	-2	-7
T	-20	-5	10	13	8	3	-2	-7	-4
C	-25	-10	5	20	15	18	13	8	3
A	-30	-15	0	15	18	13	28	23	18
C	-35	-20	-5	10	13	28	23	26	33

ALIGNMENT DIRECTION →
RIGHT TO LEFT OF
SEQUENCES

C	-	T	C	G	C	A	G	C
C	A	T	-	T	C	A	-	C