

BLAST

Basic Local Alignment Search Tool

С.А. Спирин, Ю.А. Вакуленко
15 апреля 2025



BLAST – алгоритм для нахождения участков локального сходства между последовательностями

Алгоритм сравнивает входную последовательность с последовательностями в базе данных, ищет сходные последовательности в базе данных и оценивает статистическую значимость находок

Напоминание: сходство и гомология

Гомология — общность происхождения

- У гомологичных белков можно говорить о парах гомологичных остатков
- В эволюционно правильном выравнивании все остатки в одной колонке гомологичны друг другу

Признак гомологии — сходство последовательностей

- Для выявления сходства последовательности надо выровнять
- Подбирают оптимальное выравнивание, то есть имеющее наибольший вес
- Оптимальное выравнивание существует для любых последовательностей, в том числе негомологичных
- Для двух последовательностей можно рассматривать или глобальное, или локальное выравнивание

Алгоритмы и программы оптимального парного выравнивания

- Оптимальное **глобальное** выравнивание: алгоритм **Нидлмана – Вунша**
Needleman & Wunsch (1970). "A general method applicable to the search for similarities in the amino acid sequence of two proteins". *Journal of Molecular Biology*. **48** (3): 443–53
В оригинальной работе предлагалось оценивать выравнивание с линейными штрафами за гэпы (одинаковый штраф за каждый гэп) и описывался алгоритм нахождения оптимального выравнивания с таким весом. Позднее был предложен вес с аффинными штрафами и алгоритм модифицирован для этой ситуации, ещё позднее введены матрицы замен.
Программы в EMBOSS: **needle** и **stretcher**
- Оптимальное **локальное** выравнивание: алгоритм **Смита – Уотермена** (=Смита – Ватермана)
Smith & Waterman (1981). "Identification of Common Molecular Subsequences". *Journal of Molecular Biology*. **147** (1): 195–197
Программа в EMBOSS: **water**
- Близкий алгоритм Уотермена – Эггерта выдаёт не одно оптимальное, а заданное число лучших выравниваний (Waterman & Eggert (1987). *Journal of Molecular Biology*. **197** (4): 723-728)
Программа в EMBOSS: **matcher**

Параметры этих программ = параметры вычисления веса:

- матрица замен (для белков), веса за совпадение и несовпадение (для ДНК/РНК)
- штраф за первый гэп инделя (gap opening penalty)
- штраф за следующие гэпы инделя (gap extension penalty)

Идея поиска гомологов в банке последовательностей

На входе — последовательность, для которой хочется найти гомологичные («запрос», “query”), и банк

Выравниваем запрос с каждой последовательностью банка, посчитаем веса этих парных выравниваний

Отберём те последовательности банка («находки», “hits”), для которых вес **существенно выше, чем мог бы быть по случайным причинам.**

Почему локальное выравнивание?

Глобальное выравнивание следует применять только в случае заранее известной гомологии последовательностей по всей длине.

Часто у последовательностей гомологичны только отдельные части (примеры: гомеобелки, полипротеины, ...)

Если про белки заранее ничего не известно, то более информативным будет локальное выравнивание. Поэтому именно оно применяется при поиске в банках данных.

Protein BLAST: поиск гомологов данного белка в банке аминокислотных последовательностей

Алгоритмы

- BLASTP
- Quick BLASTP
- PSI-BLAST
- PHI-BLAST
- DELTA-BLAST

Алгоритм Смита – Уотермана не используется, он слишком медленный для этой задачи

Алгоритм BLASTP **не гарантирует** нахождение оптимального выравнивания, но зато работает очень быстро

Можно использовать:

- из командной строки (standalone BLAST)
- через веб-интерфейс

Что подаётся на вход программе BLAST?

- Последовательность запроса
- Банк последовательностей
- Параметры:
 - параметры выравнивания: матрица аминокислотных замен, штрафы за гэпы;
 - параметры поиска: длина слова и другие (см. далее);
 - параметры выдачи: максимальное число находок, пороги на качество выравнивания, форма выдачи (обычная, табличная, формат ASN, ...)

Что выдает BLAST?

Выдача самой программы состоит из трёх частей:

- заголовок с описанием программы, банка, запроса (query);
- список находок;
- выравнивания запроса с находками.

Веб-интерфейсы тем или иным способом перерабатывают выдачу программы. Часто вставляется графическое изображение находок.

Выравнивание, выданное BLAST

Sequence ID: Q51368.2 Length: 342

Range 1: 234 to 338

Участок найденного белка,
попавший в выравнивание

Score:80.9 bits(198), Expect:1e-16,

Method:Compositional matrix adjust.,

Identities:46/115(40%), Positives:63/115(54%), Gaps:15/115(13%)

Query	123	SPFENTAPARLTSSTATAATSKPVTSVASGPRALSRNQPYPARAQALRIEGQVKVKFDV	182
		+P + PA L S + + KP L + P YP AQA IEG+VKV F +	
Sbjct	234	APSGSQGPAGLPSGSLNDS DIKP-----LRMDPPVYPRMAQARGIEGRVKVLFTI	283
Query	183	TPDGRVDNVQILSAKPANMFEREVKNAMRRWRYEPGKPGSGIVVN-----ILFKI	232
		T DGR+D++Q+L + P+ MF+REV+ AM +WR+EP G IV FKI	
Sbjct	284	TSDGRIDDIQVLESVPSRMFDREVRQAMAKWRFEPRVSGGKIVARQATKMFFFKI	338

Отображение консервативности позиции: между одинаковыми буквами ставится эта же буква, между сходными (positive) — знак +

Выравнивание, выданное BLAST

Sequence ID: Q51368.2 Length: 342 ← Длина найденного белка
Range 1: 234 to 338

Score: 80.9 bits (198) ← Вес в битах, Expect: 1e-16, ← Вес
Method: Compositional matrix adjust., ← E-value
Identities: 46/115 (40%), Positives: 63/115 (54%), Gaps: 15/115 (13%)

Query 123 SPFENTAPARLTSSTATAATSKPVTSVASGPRALSRNQPYPARAQALRIEGQVKVKFDV 182
+P + PA L S + + KP L + P YP AQA IEG+VKV F +
Sbjct 234 APSGSQGFAGLPSGSLNDS DIKP-----LRMDPPVYPMAQARGIEGRVKVLFTI 283

Query 183 TPDGRVDNVQILSAKPANMFEREVKNAMRRWRYEPGKPGSGIVVN-----ILFKI 232
T DGR+D++Q+L + P+ MF+REV- AM +WR+EP G IV FKI
Sbjct 284 TSDGRIDDIQVLESVPSRMFDREVRQAMAKWRFEPRVSGGKIVARQATKMFFFKI 338

Число совпадений ←
Длина выравнивания ←
Число сходных букв ←
Число символов гэпа ←

Словарик BLAST

Identities — совпадения

Positives — сходные буквы, то есть те, для которых значение матрицы положительно

Gaps — знаки гэпа "-" (не индели!)

Для всех трёх приводится их число в виде числителя со знаменателем из длины выравнивания (не длины находки!) и процент от длины выравнивания

Score — вес выравнивания. Приводится в двух видах: сначала в битах (см. далее), затем в скобках обычный = сумма значений матрицы по сопоставлениям минус штраф за гэпы

Expect — E-value, то есть ожидаемое число выравниваний с тем же или большим весом. Запись вида $9e-15$ означает $9 \cdot 10^{-15}$.

E-value – ожидаемое количество случайных находок с таким же и лучшим весом выравнивания, при поиске в той же базе данных, со случайным запросом той же длины и состава, с теми же параметрами на вычисление веса выравнивания.

В выдаче BLAST E-value называется “Expect”

Чем **меньше** E-value, тем **выше** значимость находки

E-value зависит от:

- веса выравнивания (чем больше вес, тем меньше E-value);
- размера банка (чем больше банк, тем больше E-value);
- длины запроса (чем длиннее запрос, тем больше E-value);
- параметров, используемых для вычисления веса (матрицы и штрафов)

E-value – **ожидаемое** количество **случайных** находок с таким же или лучшим весом выравнивания, при поиске в той же базе данных, со случайным запросом той же длины и состава, с теми же параметрами на вычисление веса выравнивания.

Что означает слово «ожидаемое»?

E-value – **ожидаемое** количество **случайных** находок с таким же или лучшим весом выравнивания, при поиске в той же базе данных, со случайным запросом той же длины и состава, с теми же параметрами на вычисление веса выравнивания.

Что означает слово «ожидаемое»?

Формально это то, что называется «математическое ожидание случайной величины». Случайной величиной в данном случае является **число находок** (*NB! Просьба запомнить!*)

Ожидаемое — это среднее по достаточно большому количеству испытаний.

Другое ключевое слово — «случайных». Нам нужно понять, сколько можно ожидать именно случайных, то есть бессмысленных, негомологичных находок, чтобы оценить, насколько надёжно утверждение, что данная находка — действительно гомолог.

Как посчитать E-value

Прямой способ — вычислительный эксперимент:
перемешать буквы в запросе очень много раз, каждый раз запуская BLAST, и посмотреть, сколько в среднем при одном запуске бывает находок с весом выше данного.

Такой способ, естественно, не применяется :)

Стоит подумать: от чего и как может зависеть число случайных находок

Как посчитать E-value

Имеется замечательная теорема (С.Карлина):

$$E\text{-value} = Kmn \cdot e^{-\lambda S}$$

S — Score (вес)

m — длина исходной последовательности

n — размер базы данных (суммарная длина всех последовательностей)

K и λ — две константы, зависящие только от параметров вычисления веса

BLAST хранит значения K и λ для нескольких наборов параметров вычисления веса, их раз и навсегда нашли посредством вычислительного эксперимента.

Karlin, S., Altschul, S. F., 1990. Methods for assessing the statistical significance of molecular sequence features by using general scoring schemes. *Proceedings of the National Academy of Science*, 87, 3364–3368.

Вес в битах

Вес в битах B зависит от обычного веса S и параметров вычисления веса.
Эта зависимость подобрана так, чтобы

$$E\text{-value} = mn \cdot 2^{-B}$$

m — длина исходной последовательности

n — размер базы данных

(констант K и λ теперь нет, они “загнаны внутрь B ”)

Нетрудно подсчитать, что $B = (\lambda S - \ln K) / \ln 2$

Далее описан интерфейс, установленный на «родине» BLAST: National Center for Biotechnology Information (NCBI) в США, <http://blast.ncbi.nlm.nih.gov/>

BLAST® » blastp suite

Home Recent Results Saved Strategies Help

blastn **blastp** blastx tblastn tblastx

Standard Protein BLAST

BLASTP programs search protein databases using a protein query. more...

Reset page Bookmark

Enter Query Sequence

Enter accession number(s), gi(s), or FASTA sequence(s) [?](#) Clear

Query subrange [?](#)

From

To

Or, upload file Файл не выбран [?](#)

Job Title

Enter a descriptive title for your BLAST search [?](#)

☐ Align two or more sequences [?](#)

Choose Search Set

Databases ☒ Standard databases (nr etc.): **New** ☐ Experimental databases [Try experimental clustered nr da](#)
[For more info see What is clustered nr?](#)

Compare ☐ Select to compare standard and experimental database [?](#)

Standard

Database [?](#)

Organism ☐ exclude
Enter organism common name, binomial, or tax id. Only 20 top taxa will be shown [?](#)

Exclude ☐ Models (XM/XP) ☐ Non-redundant RefSeq proteins (WP) ☐ Uncultured/environmental sample sequences

Program Selection

Algorithm

☐ Quick BLASTP (Accelerated protein-protein BLAST)

☒ **blastp (protein-protein BLAST)**

☐ PSI-BLAST (Position-Specific Iterated BLAST)

☐ PHI-BLAST (Pattern Hit Initiated BLAST)

☐ DELTA-BLAST (Domain Enhanced Lookup Time Accelerated BLAST)

Choose a BLAST algorithm [?](#)

Search database nr using Blastp (protein-protein BLAST)

☐ Show results in a new window

[+ Algorithm parameters](#)

Вводим последовательность

Банк

Таксон организмов (если надо ограничить)

Дополнительные параметры

Non-redundant protein sequences (nr)

Reference proteins (refseq_protein)

Model Organisms (landmark)

UniProtKB/Swiss-Prot (swissprot)

Patented protein sequences (pataa)

Protein Data Bank proteins (pdb)

Metagenomic proteins (env_nr)

Transcriptome Shotgun Assembly proteins (tsa_nr)

Дополнительные параметры

Algorithm parameters

Restore default search parameters

General Parameters

Max target sequences

100

Select the maximum number of aligned sequences to display ?

Short queries

☒ Automatically adjust parameters for short input sequences ?

Expect threshold

0.05

?

Word size

5

?

Max matches in a query range

0

?

Максимальный размер выдачи

Порог на E-value

Scoring Parameters

Matrix

BLOSUM62

?

Gap Costs

Existence: 11 Extension: 1

?

Compositional adjustments

Conditional compositional score matrix adjustment

?

Параметры
выравнивания

Filters and Masking

Filter

☐ Low complexity regions ?

Mask

☐ Mask for lookup table only ?

☐ Mask lower case letters ?

Борьба с «участками
малой сложности»

BLAST

Search database nr using Blastp (protein-protein BLAST)

☐ Show results in a new window

Участок малой сложности

Ищем по белку P02929

Если отключить “Compositional adjustment” и фильтр, то среди прочих выдаётся следующее выравнивание:

Query: P02929 TONB ECOLI; Subject: Q95P09 TSEP GLOMM

Score = 63.5 bits (153), Expect = 1e-09

Identities = 32/76 (42%), Positives = 47/76 (62%), Gaps = 6/76 (8%)

Query 56 EPPQAVQPPPEPVVEPEPEPEPIPEP-PKEAPVVIEKPKPKPKPKPKPVKKVQE QPKRDV 114

EP +P PEP EPEPEPEP PEP P+ P +P+P+P+P+P+P + + +P+ +

[illegible]

Query 115 KP-----VESRPASPF 125

+P ES+P S F

Sbjct 303 EPEPQPEPESKPNSLF 318

в исходном белке имеется участок, содержащий очень много пролина (P) и глутаминовой кислоты (E)

Данное выравнивание **не свидетельствует о гомологии**,
несмотря на хорошее значение E-value (10^{-9})

Участок малой сложности

Определяется как участок с смещенным составом (biased composition)

- Гомополимерные участки
 - Короткие повторы
 - Перепредставленность отдельных остатков
-
- ✓ Может мешать анализу последовательностей
 - ✓ Вычисление E-value (параметры K и λ) опирается на средние по всем белкам частоты аминокислотных остатков, поэтому на участках малой сложности оно становится некорректным
 - ✓ Обычно ведет к ложным предсказаниям гомологии (false positives)
 - ✓ Лучше использовать «Compositional adjustment» (по умолчанию включен)

Выдача BLAST в интерфейсе NCBI

BLAST® » blastp suite » results for RID-37ZP8AC8013

[Home](#) [Recent Results](#) [Saved Strategies](#) [Help](#)

[← Edit Search](#)

[Save Search](#)

[Search Summary ▾](#)

[? How to read this report?](#)

[▶ BLAST Help Videos](#)

[↶ Back to Traditional Results Page](#)

Job Title P02929:RecName: Full=Protein TonB

RID [37ZP8AC8013](#) Search expires on 04-11 20:19 pm [Download All ▾](#)

Program BLASTP [? Citation ▾](#)

Database swissprot [See details ▾](#)

Query ID [P02929.2](#)

Description RecName: Full=Protein TonB [Escherichia coli K-12]

Molecule type amino acid

Query Length 239

Other reports [Distance tree of results](#) [Multiple alignment](#) [MSA viewer](#) [?](#)

Filter Results

Organism only top 20 will appear

☐ exclude

Type common name, binomial, taxid or group name

[+ Add organism](#)

Percent Identity

E value

Query Coverage

to

to

to

[Filter](#)

[Reset](#)

Descriptions

[Graphic Summary](#)

[Alignments](#)

[Taxonomy](#)

Sequences producing significant alignments

[Download ▾](#)

[Select columns ▾](#)

Show

[?](#)

☒ select all 8 sequences selected

[GenPept](#)

[Graphics](#)

[Distance tree of results](#)

[Multiple alignment](#)

[MSA Viewer](#)

	Description	Scientific Name	Max Score	Total Score	Query Cover	E value	Per. Ident	Acc. Len	Accession
☒	RecName: Full=Protein TonB [Escherichia coli K-12]	Escherichia coli K-12	471	471	100%	4e-170	100.00%	239	P02929.2
☒	RecName: Full=Protein TonB [Salmonella enterica subsp. enterica serovar Typhimurium str. LT2]	Salmonella enterica subsp. enterica s...	313	313	100%	5e-108	83.54%	242	P25945.2
☒	RecName: Full=Protein TonB [Klebsiella pneumoniae]	Klebsiella pneumoniae	270	270	97%	1e-90	67.08%	243	P45610.1
☒	RecName: Full=Protein TonB [Serratia marcescens]	Serratia marcescens	125	125	52%	5e-34	54.69%	247	P26185.1
☒	RecName: Full=Protein TonB [Klebsiella aerogenes KCTC 2190]	Klebsiella aerogenes KCTC 2190	116	116	25%	1e-30	87.10%	243	P46383.2
☒	RecName: Full=Protein TonB [Yersinia enterocolitica]	Yersinia enterocolitica	110	110	48%	4e-28	47.06%	255	Q05740.1
☒	RecName: Full=Protein TonB [Pseudomonas aeruginosa PAO1]	Pseudomonas aeruginosa PAO1	80.9	80.9	46%	1e-16	40.00%	342	Q51368.2

Переход к текстовому виду

Чтобы скачать выдачу самой программы (а не её обработку интерфейсом),
можно поступить так:

BLAST® » blastp suite » results for RID-37ZP8AC8013

Home Recent Results Saved Strategies Help

< Edit Search Save Search Search Summary ▾

How to read this report? BLAST Help Videos Back to Traditional Results Page

Filter Results

Organism only top 20 will appear ☐ exclude

Type common name, binomial, taxid or group name

+ Add organism

Percent Identity E value Query Coverage

to to to

Filter Reset

Descriptions Graphic Summary Alignments Taxonomy

Sequences producing significant alignments

☒ select all 8 sequences selected

GenPept

FASTA (complete sequence)
FASTA (aligned sequences)
GenBank (complete sequence)
Hit Table (text)
Hit Table (CSV)
Text
Descriptions Table (CSV)
XML
ASN.1

Description	Score	Query Cover	E value	Per. Ident	Acc. Len	Accession		
☒ RecName: Full=Protein TonB [Escherichia coli K-12]	Escherichia coli K-12	100%	4e-170	100.00%	239	P02929.2		
☒ RecName: Full=Protein TonB [Salmonella enterica subsp. enterica serovar Typhimurium str. LT2]	Salmonella enterica	100%	5e-108	83.54%	242	P25945.2		
☒ RecName: Full=Protein TonB [Klebsiella pneumoniae]	Klebsiella pneumo	97%	1e-90	67.08%	243	P45610.1		
☒ RecName: Full=Protein TonB [Serratia marcescens]	Serratia marcesce	52%	5e-34	54.69%	247	P26185.1		
☒ RecName: Full=Protein TonB [Klebsiella aerogenes KCTC 2190]	Klebsiella aerogen	25%	1e-30	87.10%	243	P46383.2		
☒ RecName: Full=Protein TonB [Yersinia enterocolitica]	Yersinia enterocolitica	110	110	48%	4e-28	47.06%	255	Q05740.1
☒ RecName: Full=Protein TonB [Pseudomonas aeruginosa PAO1]	Pseudomonas aeruginosa PAO1	80.9	80.9	46%	1e-16	40.00%	342	Q51368.2
☒ RecName: Full=Protein TonB [Vibrio cholerae O1 biovar El Tor str. N16961]	Vibrio cholerae O1 biovar El Tor str. N...	45.8	45.8	92%	1e-04	30.29%	244	O52042.2

Текстовая выдача BLAST

RID: 37ZP8AC8013

Job Title:P02929:RecName: Full=Protein TonB

Program: BLASTP

Query: RecName: Full=Protein TonB [Escherichia coli K-12] ID: P02929.2(amino acid) Length: 239

Database: swissprot Non-redundant UniProtKB/SwissProt sequences

Sequences producing significant alignments:

Description	Scientific Name	Common Name	Taxid	Max Score	Total Score	Query cover	E Value	Per. Ident	Acc. Len	Accession
RecName: Full=Protein TonB [Escherichia coli K-12]	Escherichia ...	NA	83333	471	471	100%	4e-170	100.00	239	P02929.2
RecName: Full=Protein TonB [Salmonella enterica subsp. enteric...	Salmonella e...	NA	99287	313	313	100%	5e-108	83.54	242	P25945.2
RecName: Full=Protein TonB [Klebsiella pneumoniae]	Klebsiella p...	NA	573	270	270	97%	1e-90	67.08	243	P45610.1
RecName: Full=Protein TonB [Serratia marcescens]	Serratia mar...	NA	615	125	125	52%	5e-34	54.69	247	P26185.1
RecName: Full=Protein TonB [Klebsiella aerogenes KCTC 2190]	Klebsiella a...	NA	1028307	116	116	25%	1e-30	87.10	243	P46383.2
RecName: Full=Protein TonB [Yersinia enterocolitica]	Yersinia ent...	NA	630	110	110	48%	4e-28	47.06	255	Q05740.1
RecName: Full=Protein TonB [Pseudomonas aeruginosa PA01]	Pseudomonas ...	NA	208964	80.9	80.9	46%	1e-16	40.00	342	Q51368.2
RecName: Full=Protein TonB [Vibrio cholerae O1 biovar El Tor...	Vibrio chole...	NA	243277	45.8	45.8	92%	1e-04	30.29	244	O52042.2

Alignments:

>RecName: Full=Protein TonB [Escherichia coli K-12]

Sequence ID: P02929.2 Length: 239

Range 1: 1 to 239

Score:471 bits(1211), Expect:4e-170, Method:Compositional matrix adjust.,

Identities:239/239(100%), Positives:239/239(100%), Gaps:0/239(0%)

Query	1	MTLDLPRRFPWPTLLSVCIHGAVVAGLLYTSVHQVIELPAPAQPISVTMVT PADLEPPQA	60
		MTLDLPRRFPWPTLLSVCIHGAVVAGLLYTSVHQVIELPAPAQPISVTMVT PADLEPPQA	
Sbjct	1	MTLDLPRRFPWPTLLSVCIHGAVVAGLLYTSVHQVIELPAPAQPISVTMVT PADLEPPQA	60
Query	61	VQPPPEPVVEPEPEPEPIPEPPKEAPVVIEKPKPKPKPKPKPVKKVQE QPKRDVKPVESR	120
		VQPPPEPVVEPEPEPEPIPEPPKEAPVVIEKPKPKPKPKPKPVKKVQE QPKRDVKPVESR	
Sbjct	61	VQPPPEPVVEPEPEPEPIPEPPKEAPVVIEKPKPKPKPKPKPVKKVQE QPKRDVKPVESR	120
Query	121	PASPFENTAPARLTSSATAATSKPVTSVASGPRALSRNQPYPARA QALRIEGQVKVKF	180
		PASPFENTAPARLTSSATAATSKPVTSVASGPRALSRNQPYPARA QALRIEGQVKVKF	
Sbjct	121	PASPFENTAPARLTSSATAATSKPVTSVASGPRALSRNQPYPARA QALRIEGQVKVKF	180
Query	181	DVTPDGRVDNVQILSAK PANMFEREVK NAMRRWRYEPGKPGSGIVVNILFKINGTTEIQ	239
		DVTPDGRVDNVQILSAK PANMFEREVK NAMRRWRYEPGKPGSGIVVNILFKINGTTEIQ	
Sbjct	181	DVTPDGRVDNVQILSAK PANMFEREVK NAMRRWRYEPGKPGSGIVVNILFKINGTTEIQ	239

Текстовая выдача BLAST

RID: 380M38BD01N

Job Title:sp|P0C6X7|

Program: BLASTP

Query: RecName: Full=Replicase polyprotein 1ab; Short=pp1ab; AltName: Full=ORF1ab polyprotein ID: P0C6X7.1(amino acid) Length: 7073

Database: swissprot Non-redundant UniProtKB/SwissProt sequences

Sequences producing significant alignments:

Description	Scientific Name	Common Name	Taxid	Max Score	Total Score	Query cover	E Value	Per. Ident	Len	Acc.	Accession
RecName: Full=Replicase polyprotein 1ab; Short=pp1ab; AltName:...	Severe acute...	NA	694009	14775	14775	100%	0.0	100.00	7073		P0C6X7.1
RecName: Full=Replicase polyprotein 1ab; Short=pp1ab; AltName:...	Bat SARS CoV...	NA	349344	14454	14454	100%	0.0	97.50	7071		P0C6W6.1
RecName: Full=Replicase polyprotein 1ab; Short=pp1ab; AltName:...	Bat SARS cor...	NA	442736	14167	14167	100%	0.0	95.67	7067		P0C6W2.1
RecName: Full=Replicase polyprotein 1ab; Short=pp1ab; AltName:...	Bat CoV 279/...	NA	389167	14123	14123	100%	0.0	95.38	7079		P0C6V9.1
RecName: Full=Replicase polyprotein 1ab; Short=pp1ab; AltName:...	Severe acute...	NA	2697049	12939	12939	100%	0.0	86.19	7096		P0DTD1.1
RecName: Full=Replicase polyprotein 1a; Short=pp1a; AltName:...	Severe acute...	NA	694009	9103	9103	61%	0.0	100.00	4382		P0C6U8.1
RecName: Full=Replicase polyprotein 1a; Short=pp1a; AltName:...	Bat SARS CoV...	NA	349344	8822	8822	61%	0.0	96.55	4380		P0C6T7.1
RecName: Full=Replicase polyprotein 1a; Short=pp1a; AltName:...	Bat SARS cor...	NA	442736	8547	8547	61%	0.0	93.93	4376		P0C6F8.1
RecName: Full=Replicase polyprotein 1a; Short=pp1a; AltName:...	Bat CoV 279/...	NA	389167	8495	8495	61%	0.0	93.26	4388		P0C6F5.1
RecName: Full=Replicase polyprotein 1a; Short=pp1a; AltName:...	Severe acute...	NA	2697049	7475	7475	61%	0.0	80.42	4405		P0DTC1.1
RecName: Full=Replicase polyprotein 1ab; Short=pp1ab; AltName:...	Pipistrellus...	NA	694008	6150	6150	99%	0.0	45.84	7182		P0C6W4.1
RecName: Full=Replicase polyprotein 1ab; Short=pp1ab; AltName:...	Rousettus ba...	NA	694006	6106	6106	97%	0.0	52.41	6930		P0C6W5.1
RecName: Full=Replicase polyprotein 1ab; Short=pp1ab; AltName:...	Betacoronavi...	NA	1263720	5980	6287	98%	0.0	49.62	7078		K9N7C7.1
RecName: Full=Replicase polyprotein 1ab; Short=pp1ab; AltName:...	Bovine respi...	NA	233264	5451	5605	84%	0.0	49.55	7094		P0C6W8.1
RecName: Full=Replicase polyprotein 1ab; Short=pp1ab; AltName:...	Bovine enter...	NA	233262	5449	5606	84%	0.0	49.55	7094		P0C6W7.1
RecName: Full=Replicase polyprotein 1ab; Short=pp1ab; AltName:...	Human corona...	NA	31631	5437	5589	84%	0.0	49.56	7095		P0C6X6.1
RecName: Full=Replicase polyprotein 1ab; Short=pp1ab; AltName:...	Murine hepat...	NA	76344	5429	5565	86%	0.0	49.18	7124		P0C6X8.1
RecName: Full=Replicase polyprotein 1ab; Short=pp1ab; AltName:...	Bovine coron...	NA	11132	5418	5573	83%	0.0	49.28	7094		P0C6W9.1
RecName: Full=Replicase polyprotein 1ab; Short=pp1ab; AltName:...	Murine hepat...	NA	11142	5408	5570	86%	0.0	49.28	7176		P0C6X9.1
RecName: Full=Replicase polyprotein 1ab; Short=pp1ab; AltName:...	Murine hepat...	NA	11144	5356	5492	85%	0.0	48.72	7180		P0C6Y0.1
RecName: Full=Replicase polyprotein 1ab; Short=pp1ab; AltName:...	Human corona...	NA	443240	5319	5483	85%	0.0	48.57	7152		P0C6X3.1
RecName: Full=Replicase polyprotein 1ab; Short=pp1ab; AltName:...	Human corona...	NA	443241	5317	5479	85%	0.0	48.48	7132		P0C6X4.1
RecName: Full=Replicase polyprotein 1ab; Short=pp1ab; AltName:...	Human corona...	NA	443239	5312	5475	85%	0.0	48.49	7182		P0C6X2.1
RecName: Full=Replicase polyprotein 1ab; Short=pp1ab; AltName:...	Bovine coron...	NA	11133	5287	5439	81%	0.0	48.91	7059		P0C6X0.1
RecName: Full=Replicase polyprotein 1ab; Short=pp1ab; AltName:...	Scotophilus ...	NA	693999	4328	4465	75%	0.0	46.40	6793		P0C6W0.1
RecName: Full=Replicase polyprotein 1ab; Short=pp1ab; AltName:...	Porcine epid...	NA	229032	4295	4435	76%	0.0	46.48	6781		P0C6Y4.1
RecName: Full=Replicase polyprotein 1ab; Short=pp1ab; AltName:...	Human corona...	NA	277944	4286	4423	76%	0.0	45.79	6729		P0C6X5.1
RecName: Full=Replicase polyprotein 1ab; Short=pp1ab; AltName:...	Human corona...	NA	11137	4258	4463	77%	0.0	45.56	6758		P0C6X1.1
RecName: Full=Replicase polyprotein 1ab; Short=pp1ab; AltName:...	Porcine tran...	NA	11151	4194	4353	76%	0.0	45.60	6684		P0C6Y5.1
RecName: Full=Replicase polyprotein 1ab; Short=pp1ab; AltName:...	Feline infec...	NA	33734	4173	4285	73%	0.0	45.61	6709		Q98VG9.2
RecName: Full=Replicase polyprotein 1ab; Short=pp1ab; AltName:...	Avian infect...	NA	11122	4133	4248	73%	0.0	45.35	6629		P0C6Y1.1
RecName: Full=Replicase polyprotein 1ab; Short=pp1ab; AltName:...	Avian infect...	NA	11127	4133	4260	75%	0.0	45.31	6631		P0C6Y3.1
RecName: Full=Replicase polyprotein 1ab; Short=pp1ab; AltName:...	Avian infect...	NA	160235	4131	4246	73%	0.0	45.35	6629		P0C6Y2.1
RecName: Full=Replicase polyprotein 1a; Short=pp1a; AltName:...	Pipistrellus...	NA	694008	2335	2335	61%	0.0	33.82	4481		P0C6T5.1

Словарик (таблица находок BLAST)

Max Score: самый большой из весов (в битах) выравниваний запроса с данной находкой

Total Score: суммарный вес (в битах) всех выравниваний запроса с данной находкой

Query cover: процент длины запроса, покрытый выравниваниями

E Value: в таблице находок это E-value, подсчитанное по особой формуле на основе **всех** выравниваний запроса с данной находкой

Per. Ident: процент идентичных букв в лучшем (по весу) из выравниваний запроса с данной находкой

BLAST — эвристический алгоритм

Алгоритмы биоинформатики можно разделить на точные и эвристические.

Точные алгоритмы решают какую-либо точно сформулированную формализованную задачу.

Пример: алгоритм Нидлмана – Вунша, который для данных последовательностей находит выравнивание с максимальным весом.

Эвристические алгоритмы — те, для которых формальную задачу сформулировать нельзя.

BLAST **не гарантирует** нахождение оптимального локального выравнивания. За счёт этого достигается высокая скорость работы. Но теоретически возможно, что BLAST не найдёт в банке имеющийся там вполне достоверный (судя по выравниванию) гомолог.

Дополнительные параметры

Algorithm parameters

Restore default search parameters

General Parameters

- Max target sequences [?](#)
Select the maximum number of aligned sequences to display [?](#)
- Short queries ☒ Automatically adjust parameters for short input sequences [?](#)
- Expect threshold [?](#)
- Word size [?](#)
- Max matches in a query range [?](#)

Длина слова

Scoring Parameters

- Matrix [?](#)
- Gap Costs [?](#)
- Compositional adjustments [?](#)

Filters and Masking

- Filter ☐ Low complexity regions [?](#)
- Mask ☐ Mask for lookup table only [?](#)
☐ Mask lower case letters [?](#)

BLAST

Search database nr using Blastp (protein-protein BLAST)

☐ Show results in a new window

Длина слова

Одним из параметров BLAST является длина слова (word size).

Чем больше длина слова, тем быстрее работает BLAST, но тем меньше его **чувствительность**. Это означает, что вероятность пропустить гомологи возрастает.

Сейчас на сайте NCBI значение длины слова по умолчанию равно 5, доступны значения 2, 3 и 6.

Идея алгоритма BLAST

Нам нужно найти в банке последовательности, хорошо (то есть с большим весом) выравнивающиеся с последовательностью запроса.

Можно было бы это делать алгоритмом Смита – Уотермена, последовательно выравнивая каждую банковскую последовательность с запросом (и такие сервисы существуют, например ssearch на сайте ebi.ac.uk). Но при нынешних объёмах банков это работает слишком медленно.

Идея состоит в том, чтобы заранее **проиндексировать** банк.

Индексы вы видели в конце почти любой научной книги, там имеется **алфавитный** список терминов (или, например, латинских названий растений) с указанием страниц, на которых упоминается этот термин.

В случае BLAST индексами служат **слова** заданной длины из букв, встречающихся в наших последовательностях.

Например, для белков и при длине слова 3 это AAA, AAC, AAD, ..., YYY, всего $20^3 = 8000$ слов.

Индекс можно представить себе как таблицу, в которой для каждого слова указано, в какой последовательности банка и в каком месте это слово встретилось.

Индекс — примерно то же, что алфавитный указатель в книге

АЛФАВИТНЫЙ УКАЗАТЕЛЬ

(цифры обозначают номера экспериментов или параграфов)

Агрегатное состояние 18, 19.
Акустический указатель 169.
Акция 128.
Амплитуда колебания 162, 191,
196, 197, 211, 217.
Апериодические колебания 205.

Балансирование 65, 66, 70.
Барометр чашечный § 1.
Батавские слезки 61.
Биение 217.
Бифилярный подвес 150, 156, 162,
197, 207.
Блок 84—86, § 2 — 1, 3, 4.
Блок ступенчатый § 2—5.
Болонская колбочка 61.

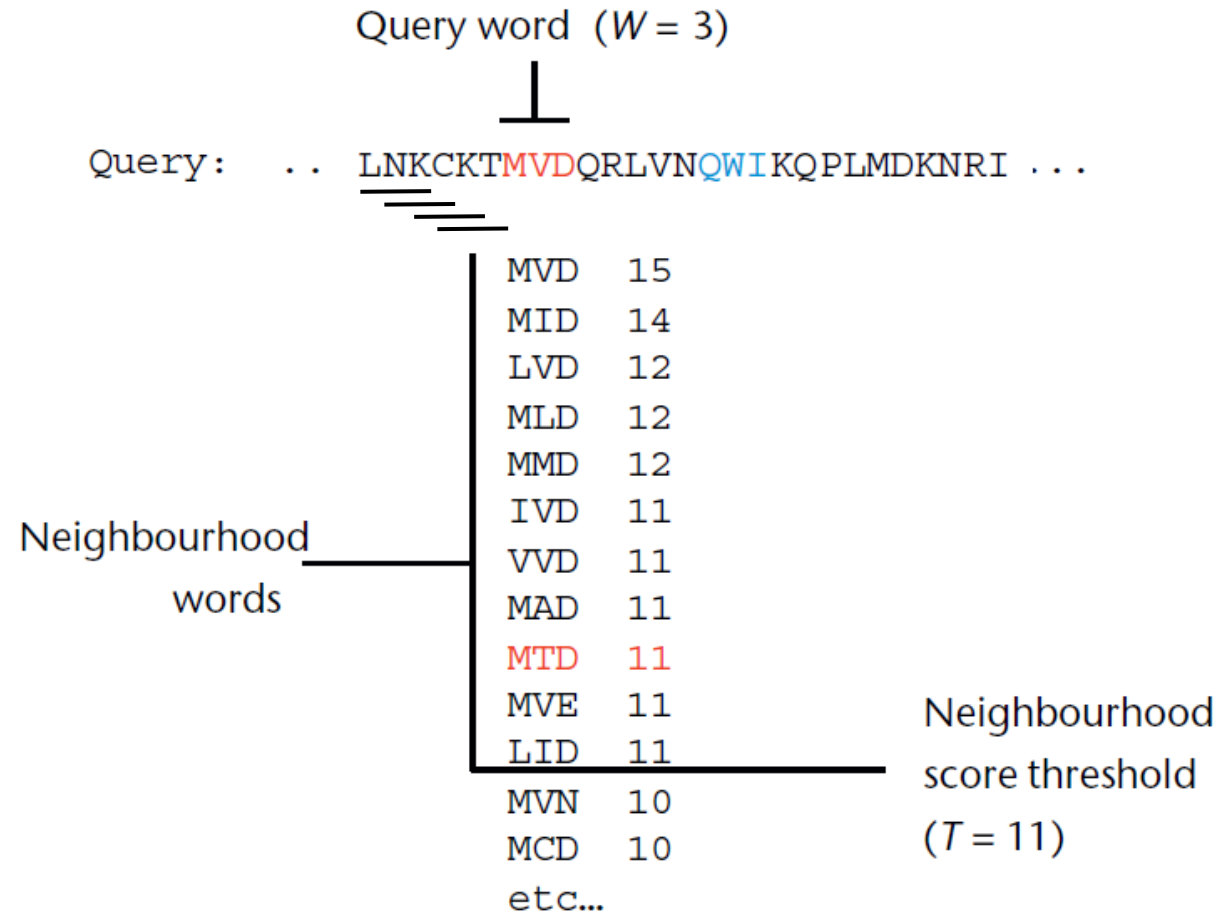
Время, деление на равные проме-
жутки 15, 16.
Время, измерение 13—15, 113, § 3.
Время падения 120.
Высота падения 118, 120.
Вытесняемость жидкости 8, 9, 21, 22.
Вытесняемость твердых тел 20.

Гармоническое колебание 191, 196, § 28.
Градуирование шкалы динамометра 55.
Грамм § 7.
Графики 55, 147, 183, 193, 194, 199.
Грузики с крючками § 2—10.

Давления, сила 53, 135.
Дальность полета 118, 122, 157.
Движение волновое 201.

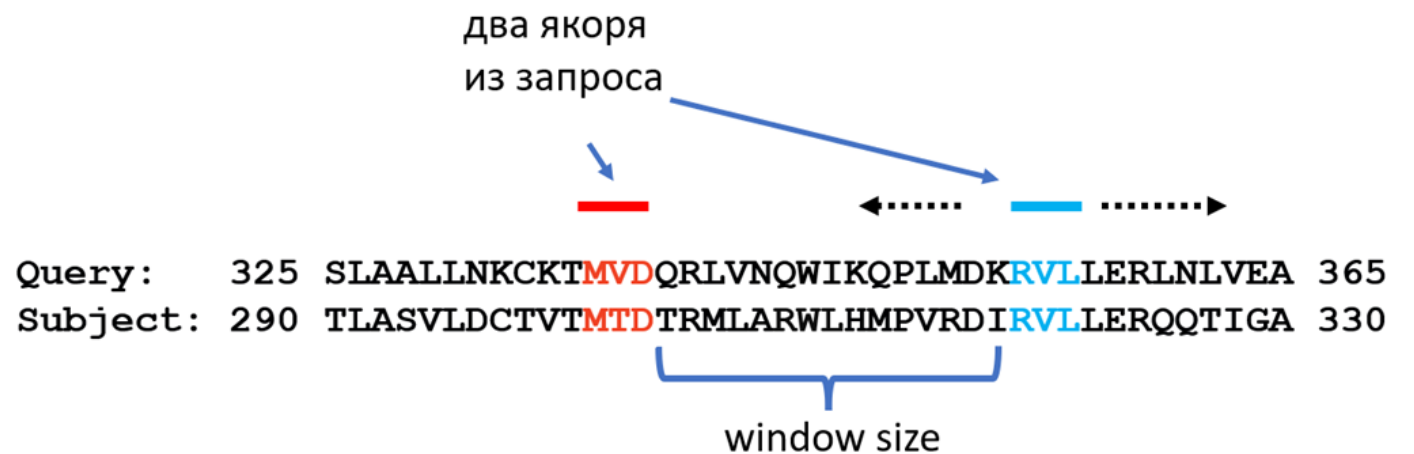
BLAST: отбор слов

- Два параметра:
 - длина слова
(word_size, ≥ 2 , в standalone по умолчанию 3)
 - порог на сходство слов
(threshold, ≥ 0 , по умолчанию 11)
- Берутся все слова из запроса (query) длины *word_size*
- В индексах ищутся слова, имеющие сходство со словами из запроса на уровне не менее threshold

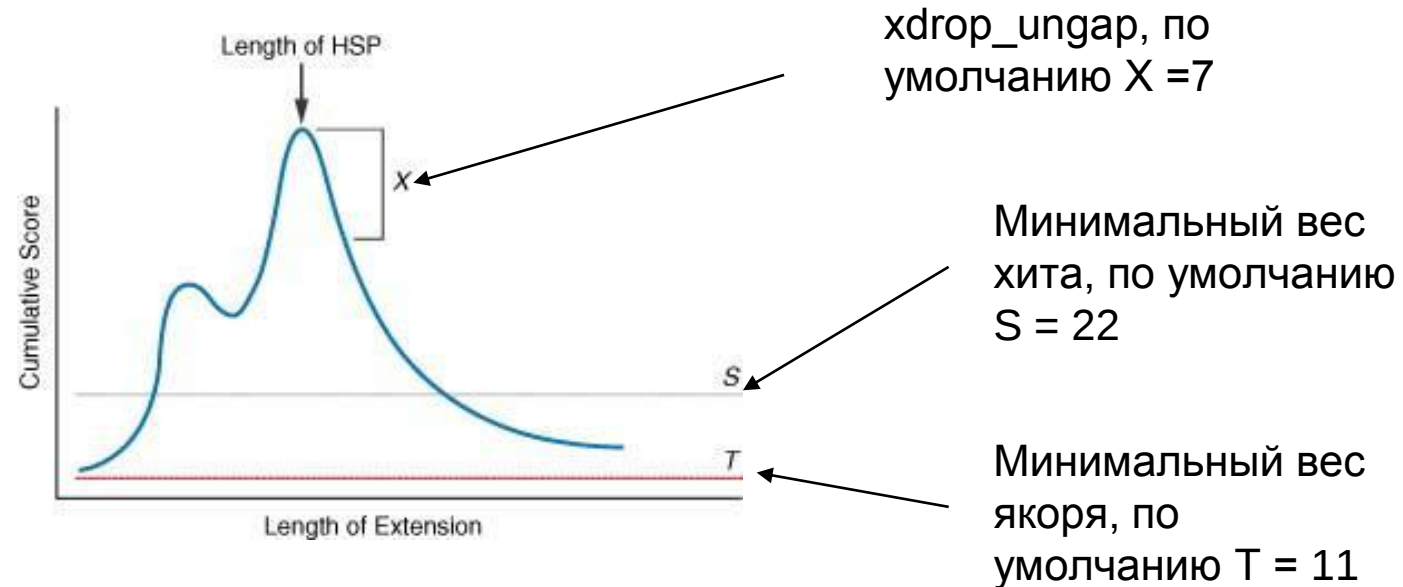


BLAST: от якоря к выравниванию

- Выравнивание начинает строиться, если в запросе есть пара слов на расстоянии, меньшем параметра `window_size` (по умолчанию 40), для которых нашлась пара сходных слов в одной банковской последовательности на том же расстоянии.
В результате получаем два якоря — выравнивания длины `word_size`.
- Второй якорь расширяется без гэпов в обе стороны, пока вес не упадёт на заданную величину от максимально достигнутого (по умолчанию этот параметр `xdrop_ungap` = 7 бит)
- Если максимально достигнутый вес больше 22 бит, то соответствующее выравнивание расширяется уже с гэпами (аналогично алгоритму Нидлмана – Вунша). Расширение продолжается, пока вес не упадёт ниже максимально достигнутого на величину, большую `xdrop_gap`, по умолчанию 15 бит



BLAST: расширение якоря

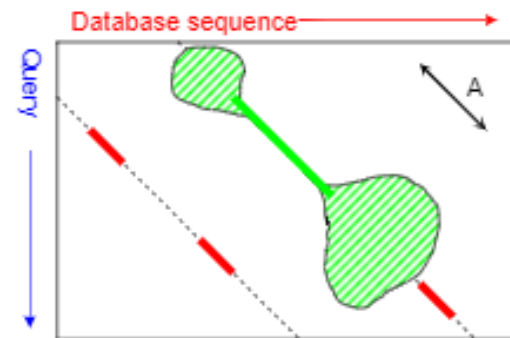


Это схема расширения в одну сторону; после того, как максимальное значение найдено, точно так же расширяем в другую.

Indexing for Blast (3)



Ungapped extension if:
2 "Hits" are on the same diagonal but
at a distance less than A



Extension using **dynamic programming**
limited to a restricted region
limited through a **score drop-off**
threshold

LR, Bezel October 2008



<https://docplayer.net/15013198-Databases-indexation.html>

Автор: Laurent Falquet, SIB

BLAST: роль длины слова (мой эксперимент)

- Вход: последовательность из 466 остатков
- NCBI BLAST (<https://blast.ncbi.nlm.nih.gov/>)
- Область поиска: Swiss-Prot, белки из бактерий
- Порог E-value = 10, остальные параметры, кроме "Word Size", по умолчанию
- $W = 6$
 - Найдено 16 последовательностей, в них 18 находок
 - 8 находок с $E < 0,001$
 - Время работы сервиса NCBI – менее одной минуты
- $W = 2$
 - Найдено 69 последовательностей, в них 75 находок
 - 12 находок с $E < 0,001$
 - Время работы сервиса NCBI – около 35 мин

Вопросы и ответы про BLAST

За счёт чего BLAST работает быстро?

За счёт просмотра не всех возможных выравниваний, а только полученных расширением "затравок". Каждая "затравка" получается из слова длины k ($k = 2, 3, \dots, 6$), встреченного в запросе, и очень сходного слова из какой-либо банковской последовательности.

"Затравки" находятся очень быстро благодаря предварительной индексации всех слов в банке. В результате индексации для каждого слова указано, в каких местах каких банковских последовательностей это слово встречается.

Что может поменяться при изменении параметра "Word size»?

Чем длиннее слово, тем меньше машинного времени займёт поиск.

Чем короче слово, тем чувствительнее поиск (меньше опасность пропустить хорошее выравнивание).

Standalone BLAST

BLAST можно установить на своём компьютере
(а на kodomo он уже установлен)

Предположим, вам нужно найти гомологи белка, чья последовательность — в файле myprot.fasta, в протеоме, содержащемся в файле proteom.fasta (всё в fasta-формате, BLAST других не понимает).

Придётся сначала проиндексировать ваш банк программой makeblastdb, подав ей на вход протеом (читайте makeblastdb -help)

Эта программа создаст несколько файлов, необходимых для поиска, в том числе тот самый индекс якорей (сразу для всех допустимых длин слов)

После этого можно искать программой blastp, указав ей имя файла с запросом и название проиндексированного банка
(читайте blastp -help, нужные опции: -query, -db, -out)

Standalone BLAST

Впрочем, можно использовать BLAST и для обычного локального выравнивания двух последовательностей, безо всякой индексации:

```
blastp -query seq1.fasta -subject seq2.fasta -out result.blastp
```

Но имейте в виду, что BLAST и в таком варианте не гарантирует оптимального выравнивания (это **эвристический** алгоритм)! Зато можно быстро выровнять очень длинные последовательности (команде water может не хватить памяти) и получить не одно, а много локальных выравниваний.

(На самом деле в этом варианте BLAST «на ходу» индексирует вторую последовательность)

BLAST: варианты формата выходного файла

-outfmt <String>

alignment view options:

- 0 = Pairwise,
- 1 = Query-anchored showing identities,
- 2 = Query-anchored no identities,
- 3 = Flat query-anchored showing identities,
- 4 = Flat query-anchored no identities,
- 5 = BLAST XML,
- 6 = Tabular,
- 7 = Tabular with comment lines,
- 8 = Seqalign (Text ASN.1),
- 9 = Seqalign (Binary ASN.1),
- 10 = Comma-separated values,
- 11 = BLAST archive (ASN.1),
- 12 = Seqalign (JSON),
- 13 = Multiple-file BLAST JSON,
- 14 = Multiple-file BLAST XML2,
- 15 = Single-file BLAST JSON,
- 16 = Single-file BLAST XML2,
- 18 = Organism Report

0–4 — чтобы смотреть глазами

5–16 — чтобы парсить программами.

6, 7 и 10 можно импортировать в электронные таблицы