# 基于版本

## Lucene 8.6.2

## elasticsearch 7.12

elasticsearch中查看版本兼容:

GET /

{

"name" : "",

"cluster\_name" : "",

"cluster\_uuid" : "aXrSW96ZhxZw",

"version" : {

"number" : "7.5.0",

"build\_flavor" : "oss",

"build\_type" : "tar",

"build\_hash" : "e9ccaed468e2fac2275a3761849cbee64b39519f",

"build\_date" : "2019-11-26T01:06:52.518245Z",

"build\_snapshot" : false,

"lucene\_version" : "8.3.0",

"minimum\_wire\_compatibility\_version" : "6.8.0",

"minimum\_index\_compatibility\_version" : "6.0.0-beta1"

},

"tagline" : "You Know, for Search"

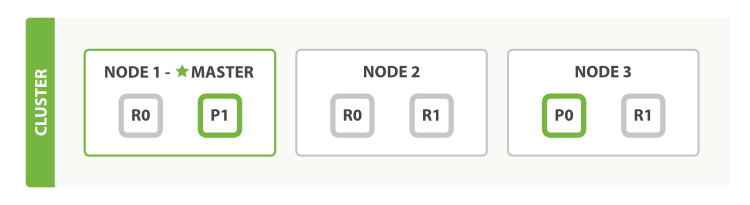
}

## index 索引

elasticsearch中的shard对应Lucene中的index. 每个shard都是独立的Lucene索引.

index索引有三种打开模式: create, append, create\_or\_append.

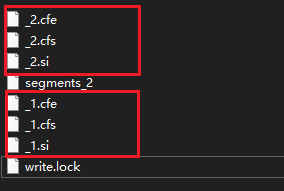
elasticsearch中:



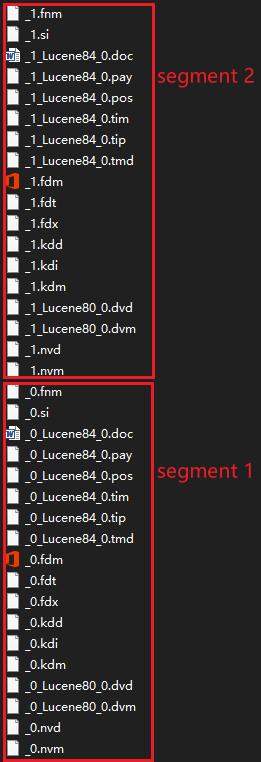
### 关于segment

Lucene的文件结构有两种模式,一种是混合模式,一种是多文件模式

混合模式是将一个segment的不同类型数据都存放在.cfs/cfe文件中,但是还是需要先生成多文件,最后再合并成cfs/cfe, 是Lucene即elasticsearch默认模式.



多文件模式将不同类型的数据放到不同的文件,比混合模式少了一步压缩.



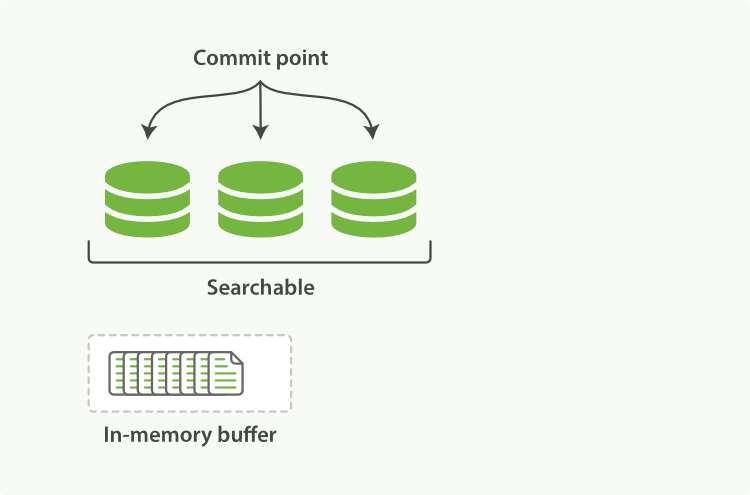
在Lucene中, 数值部分相同的文件共同组成一个segment. 搜索时会遍历每个segment, 每个segment都是独立的,共同组成index.

可以设置缓存最大值和缓存中最大文档数,内存中缓存的文档达到任意一个条件,都会触发生成segment.

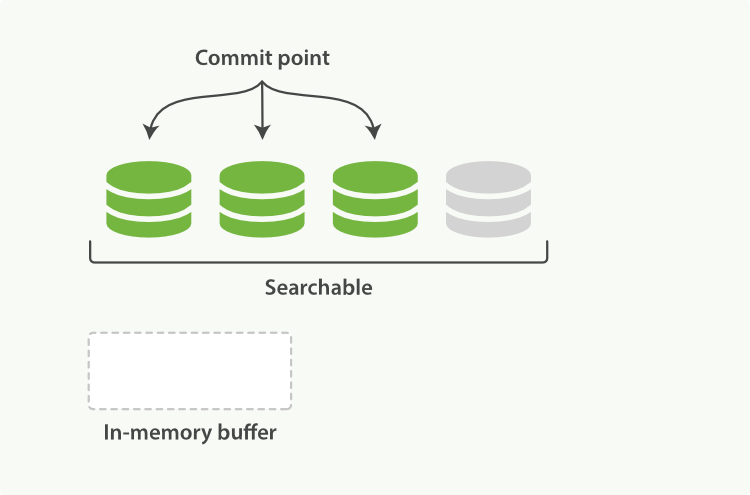
#### elasticsearch中的存储:

简要过程: document先保存在缓存(in-memory), 然后组合成一个segment, 默认1秒refresh到文件系统缓存(filesystem cache), flush时再写入磁盘,在refresh以后就可以被搜索到.

memory:

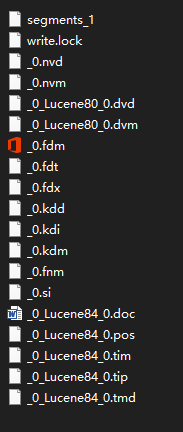


文件系统缓存和磁盘:



Lucene允许在不完全commit的情况下(写入文件系统缓存后)被搜索到. 写入文件系统缓存比写入磁盘更轻量, 所以频繁的执行也不会降低性能.

### Lucene文件简介



### write.lock

一个索引同一时间只能有一个写操作,但写和读互不影响.

### segment\_N

记录index的所有segment信息, IndexWriter每commit一次, N的值会递增1.

在Lucene中仅仅通过flush的segment不能成为可搜索的segment.可以flush多次以后再commit一次.

一个索引中可能存在多个segment\_N文件,N值最大的代表最新的一次提交.

This {**@link** IndexDeletionPolicy} implementation that keeps only the most recent commit and immediately removes all prior commits after a new commit is done. This is the default deletion policy.

Lucene的默认策略是只保存最新的一次提交,之前的segment\_N在提交后立即删除.

### tim/tip

tim为term dictionary文件, 结构为FST

tip 文件中存放的数据指向tim文件,看作tim的目录

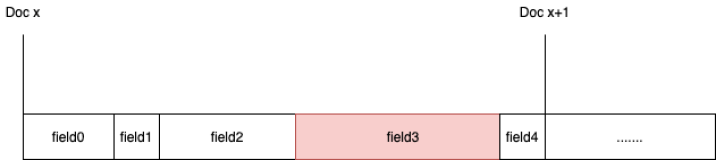
### fdx/fdt/fdm

fdm保存一些基本metadata,用于辅助读取fdx文件

fdx 在lucene中默认会先被读取到内存中,看做fdt的目录

fdt 保存field原始信息(通过lz4压缩),目的是通过docId查出文档内容.

fdt:



### tvx/tvd/tvm

保存term vector相关数据.

### dvd/dvm

docvalues 相关文件,可以看做docId->field value

### kdd/kdi/kdm

points类型的索引文件,数据结构为bkd tree.

### nvd/nvm

norm factor标准化因子相关文件, 新版本的Lucene去掉了index-time boost,现在这两个文件基本不占用磁盘空间.

nvd 保存data

nvm保存metadata

### doc

保存term的倒排表信息,包括docId的倒排链,term在docId的term freq信息等

### pos

保存词汇在term中的位置信息,和phrase查询,高亮查询有关

### pay

保存payload信息, 作用: 如果某个文档的某个词有特殊性,可以在这个词的这个文档的链表中存储payload信息, 在搜索的时候可以影响得分.

### liv

记录存活文档信息,Lucene之前版本用.del标记哪些被删除,数据结构为BitSet.

### elasticsearch的预加载

{

"settings": {

"index.store.preload": ["nvd", "dvd"]

}

}

将一些索引文件先加载到内存中.

可以设置为["\*"],不过elasticsearch不会加载所有文件到内存,会有一定的加载策略,建议使用preload时指定具体文件,不使用\*

## 一些概念

### field

域,可以看作map中的key, 每个field都有name和type

#### StringField &TextField:

elasticsearch新版本中没有string类型, 称为keyword. String类型不被分词,Text类型可以分词,用于全文搜索, 另外Text类型不支持doc value, String类型支持.

elasticsearch中的multi-field:

{

"mappings": {

"properties": {

"city": {

"type": "text",

"fields": {

"raw": {

"type": "keyword"

}

}

}

}

}

}

The city.raw field is a keyword version of the city field.

The city field can be used for full text search.

The city.raw field can be used for sorting and aggregations

keyword分为了keyword, constant\_keyword, wildcard.

区别:

constant\_keyword索引中的文档这个值不变

wildcard用于高基值,elasticsearch有一些优化.

keyword介于两者之间.

#### Date

date类型被数据保存的是long类型,数据转换为UTC(可以指定时区)的毫秒时间.

搜索时,根据时间转换成long数据的范围.

如果需要秒格式:

"properties": {

"date": {

"type": "date",

"format": "strict\_date\_optional\_time||epoch\_second"

}

#### Points类型:

点数据类型,可以表示多维数据,Lucene中最多支持8个纬度

#### Range field:

This field indexes dimensional ranges defined as min/max pairs. It supports up to a maximum of 4 dimensions (indexed as 8 numeric values). With 1 dimension representing a single integer range,  
\* 2 dimensions representing a bounding box, 3 dimensions a bounding cube, and 4 dimensions a tesseract.

可以看做points数据的扩展, 此字段索引定义为最小/最大对的维度范围。它最多支持4个维度(索引为8个数值)。1维表示单个整数范围，2维表示边界框，3维表示边界立方体，4维表示超立方体。

#### Runtime field

存在elasticsearch中,不参与索引,修改后不用重建index, 查询时性能较差.

{

"mappings": {

"runtime": {

"day\_of\_week": {

"type": "keyword"

}

}

}

}

#### Flattened

可以看做一个对象类型. 对比dynamic mapping优点:

只有一个field mapping被创建, 避免了mapping explosion.

但是只支持基本查询, 不支持数值范围或者高亮.

"labels": {

"type": "flattened"

}

索引一个document,不会分析数值或者日期类型的叶子.

"labels": {

"priority": "urgent",

"release": ["v1.2.5", "v1.3.0"],

"timestamp": {

"created": 1541458026,

"closed": 1541457010

}

搜索:

"query": {

"term": {"labels.release": "v1.3.0"}

}

#### field注意事项

一个field可以添加多个value, 搜索时关键词匹配其中一个即可搜索到.

例如:

doc.add(new StringField("x", "a", Field.Store.YES));

doc.add(new StringField("x", "b", Field.Store.YES));

针对x,搜索关键词a和b都可以搜索到.

Lucene会保存field信息,如果field定义过多,可能会造成内存溢出(会先加载fdx到内存), 应该设置mapping limit.

**index.mapping.total\_fields.limit**

另外不推荐使用dynamic mapping(merge时性能很差).

了解:

新版本的Lucene中已有field类型都设置为freeze, 不允许修改定义好的FieldType, 要定制只能自定义Field类.

### DocValues:

当我们需要对数据进行聚合或者排序时, 先根据FST找到关键词对应的docId列表, 然后提取所有document对应的field, 再进行聚合操作,如果数据量大容易造成内存溢出,并且性能很差.

示例:

{

"size": 0,

"aggs": {

"NAME": {

"terms": {

"field": "xxx",

"size": 300

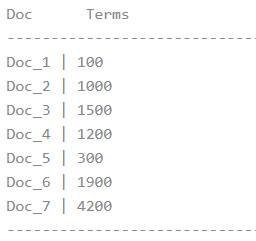
}

}

}

}

如果没有doc value, 会遍历所有document,然后提取xxx进行聚合.



doc values建立docId->field value,列式存储数据, 适合于聚合,排序. 并且Lucene通过各种编码压缩, 会尽可能把docValues预先加载到内存, 内存中放不下的会从磁盘加载.对于wildcard field最好关闭docValues

Doc Values 不是由 JVM 来管理.

<https://www.elastic.co/guide/cn/elasticsearch/guide/current/heap-sizing.html>

elasticsearch默认对每个field(analyzed类型除外)开启doc value,不需要的可以禁用:

{

"mappings": {

"my\_type": {

"properties": {

"session\_id": {

"type": "string",

"index": "not\_analyzed",

"doc\_values": false

}

}

}

}

}

让一个字段可以被聚合，通过禁用倒排索引，使它不能被正常搜索:

{

"mappings": {

"my\_type": {

"properties": {

"customer\_token": {

"type": "string",

"index": "not\_analyzed",

"doc\_values": true,

"index": "no"

}

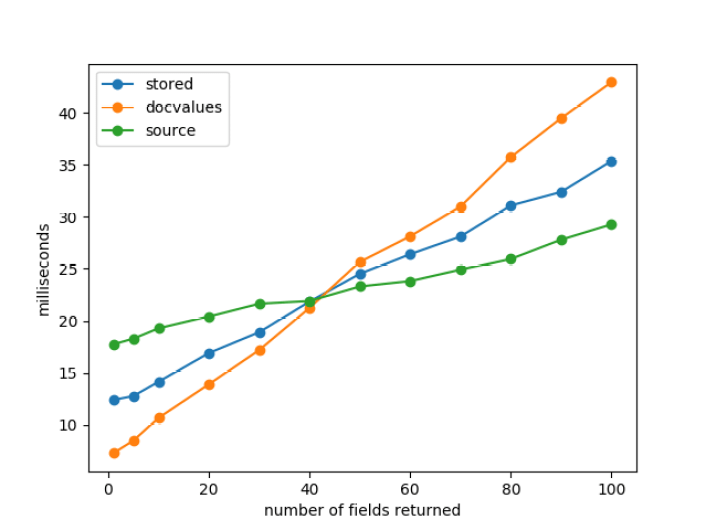
}

}

}

}

100万document,100个field, 32GB内存的实验,分别为关闭\_source,开启stored或docValues, 开启\_source,关闭stored和docValues:



结论:

Docvalues are recommended if we need few fields for each document. On the other hand, \_source field is the best one when we want to return the whole document and the usage of stored fields is the perfect tradeoff between the other two.

参考: <https://sease.io/2021/02/field-retrieval-performance-in-elasticsearch.html>

了解:

docValues有几种类型: numeric, binary, sorted, sorted\_numeric, sorted\_set

其中的sorted, set表示的是同一个doc内,一个field是multi-value, 对这个value的排序或者去重.docValue还是按照docId的顺序保存.

### FieldData

doc values对于 Text这种是不支持的, 如果要对分词字段进行聚合,elasticsearch提供了fielddata, 构建和管理都在内存中, 默认不使用fielddata.

如果要使用file data, 最好设置一个缓存大小限制,达到限制阈值,elasticsearch会通过least-recently-updated进行清理:

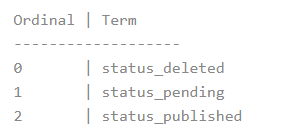
**indices.fielddata.cache.size**

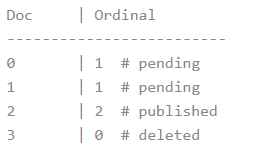
#### global originals

产生的原因:

Imagine that we have a billion documents, each of which has a status field. There are only three statuses: status\_pending, status\_published, status\_deleted. If we were to hold the full string status in memory for every document, we would use 14 to 16 bytes per document, or about 15 GB.

使用global original:





This reduces memory usage from 15 GB to less than 1 GB

注意:

global original使用[field data cache](https://www.elastic.co/guide/en/elasticsearch/reference/master/modules-fielddata.html)的一部分堆内存, 高基数字段上的聚合可能会使用大量内存，并触发 [field data circuit breaker](https://www.elastic.co/guide/en/elasticsearch/reference/master/circuit-breaker.html#fielddata-circuit-breaker).

开启 global originals:

{

"properties": {

"tags": {

"type": "keyword",

"eager\_global\_ordinals": true

}

}

}

### term

项,可以看作map的value,一个term是Lucene的基本搜索单元.

### term vector

项向量,通过分析器解析产生的信息,存储了 term列表, 每个term的position,相对原始字符串的开始字符和结束字符的偏移量, 用户自定义payload信息.

elasticsearch开启:

{

"mappings": {

"properties": {

"text": {

"type": "text",

"term\_vector": "with\_positions\_offsets"

}

}

}

}

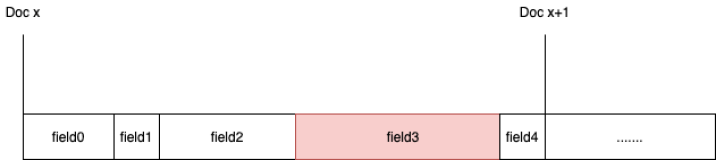
term vector数据结构和保存的内容和fdx/fdt很相似, 区别在于chunk中保存了position, offset, payload信息

### Store

YES, 存储原始field值到index

NO, 不存储原始值到index

某些field只想用来搜索,不需要保存,则可以设置store为NO

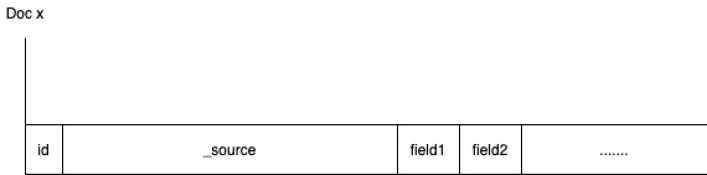


elasticsearch默认field 的store为false,但是我们还是可以搜索出来,是因为elasticsearch在Lucene中添加了\_source字段,并默认设置为store为yes.

用\_source的原因:

Take as example the image above. In order to access the field3 of document x, we have to access the row of document x and skip all the fields that are stored before field3. Skipping a field require to get its length. Skipping fields is not as expansive as read them but this operation does not come for free.

为了访问文档x的field3，我们必须访问文档x的行，并跳过在field3之前存储的所有字段。跳过一个字段需要得到它的长度。跳过字段不像读取字段那么复杂，但是这个操作不是免费的。



#### 示例:

elasticsearch中, 如果我们禁用\_source则查询结果中不会显示对应字段.禁用\_source,在查询时只会得到一个\_id

#### request:

{

"mappings": {

"\_source": {

"enabled": false

},

"properties" : {

"index\_store\_field" : {

"type" : "text",

"store" : true

},

"no\_index\_field" : {

"type" : "text",

"index" : false,

"store" : true

},

"no\_store\_field" : {

"type" : "text"

}

}

}

}

#### response:

{

"took" : 2,

"timed\_out" : false,

"\_shards" : {

"total" : 1,

"successful" : 1,

"skipped" : 0,

"failed" : 0

},

"hits" : {

"total" : {

"value" : 1,

"relation" : "eq"

},

"max\_score" : 1.0,

"hits" : [

{

"\_index" : "es-test",

"\_type" : "\_doc",

"\_id" : "1",

"\_score" : 1.0

}

]

}

}

如果某些字段只用来索引,不需要存储,则可以在\_source中排除,以节约空间:

"\_source": {

"excludes":[

"no\_store\_field"

]

}

### Index

YES: 索引该field

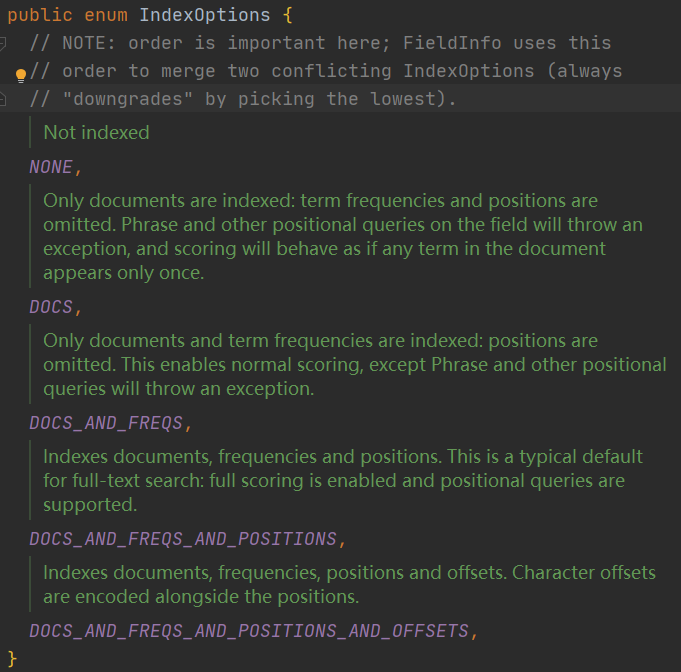
NO: 不被索引

设置为no,则该字段不能被搜索

elasticsearch默认为true,如果设置为false,则用该字段不可查询.

### IndexOptions:

控制哪些信息需要被添加到倒排索引中, 只适用text类型, 用于高亮展示



一共有5种IndexOptions

对应elasticsearch中的docs,freqs,positions,offsets. 没有NONE,index如果设置为false,则代表不索引.

IndexOptions, term vector区别:

IndexOptions: field -> term -> doc -> freq/pos/offset 构建为skiplist

term vector: doc -> field -> term -> pos/offset/payload 构建为正向索引形式

### boost

影响文档的评分,比如我们想要title中含有xx的文档要比content中含有xx的更靠前

boost可以分为:索引时boost和查询时boost,新版本(5.0.0以后)Lucene已经废除index time,只保留了查询时boost, 相对更加灵活.

elasticsearch 查询示例:

{

"match": {

"title": {

"query": "xx",

"boost": 2

}

}

},

{

"match": {

"content": "xx"

}

}

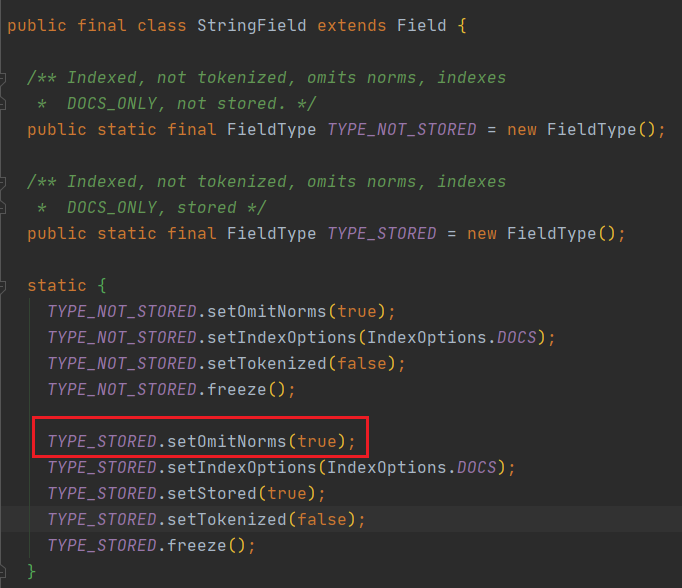
### norm

Lucene中叫做Normalization Factor标准化因子

norm(t,d) is an index-time boost factor that solely depends on the number of tokens of this field in the document, so that shorter fields contribute more to the score.

一个创建索引时的boost因子,field越短,则评分会越高.(一般是词频除以总词数,以防止评分偏向长term)

norm在StringField(keyword)类型中被设置为忽略,表示field的长度不影响评分.



elasticsearch中进行设置:

{

"properties": {

"title": {

"type": "text",

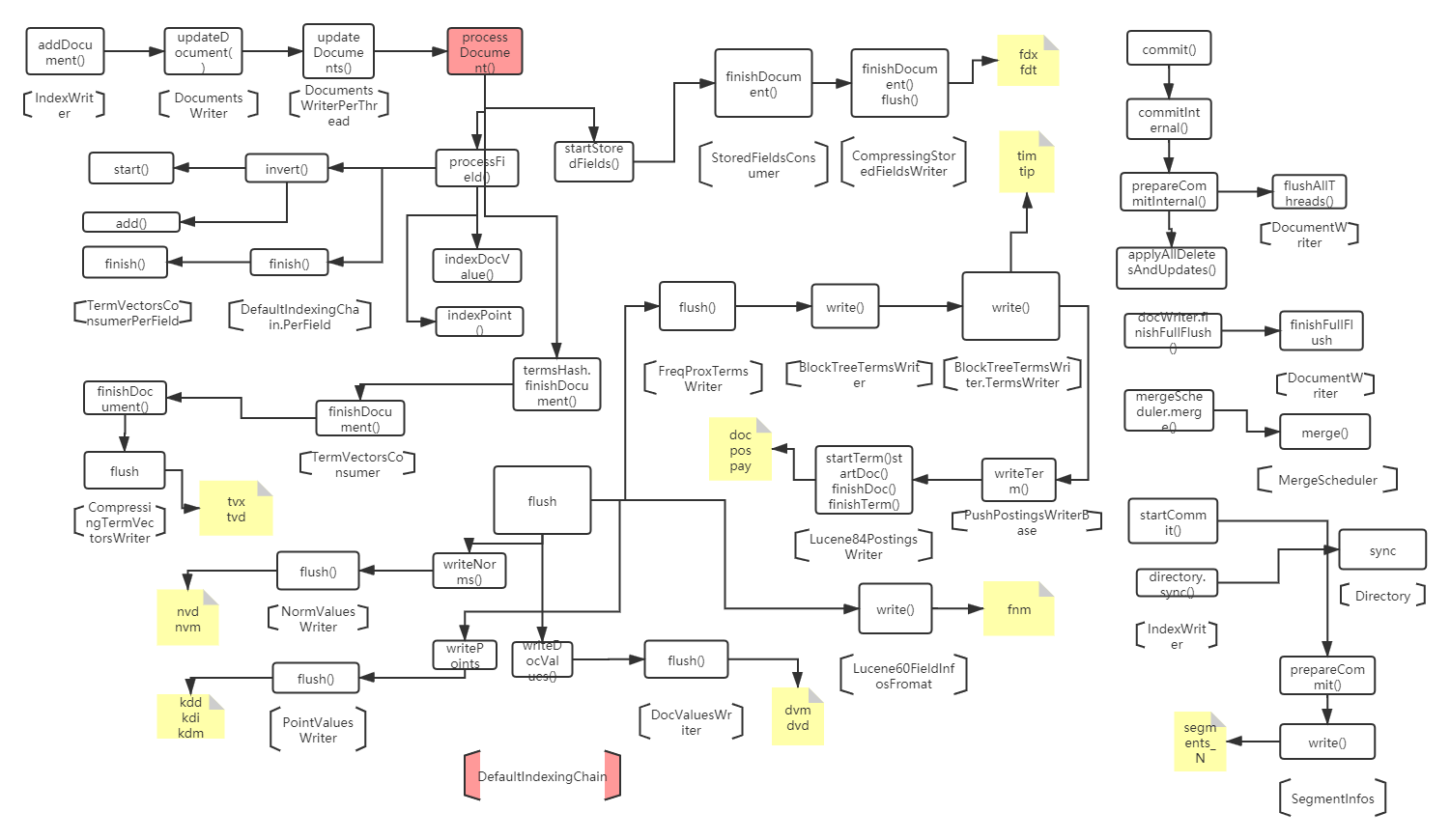
"norms": false

}

}

}

# Lucene索引过程



Lucene的添加操作通过update方法来实现,传入一个null的Term(field+value).

Lucene的update操作是通过先删除后增加来实现的,通过两阶段提交(prepareCommit, commit, rollback)来保证update的原子性.

delete操作,Lucene提供了by query和by term

当一个文档被删除或更新(delete+add),Lucene在bitset中标记文档被删除(生成liv文件),所有后续搜索会过滤这些被标记的文档.

删除文档并不会立即回收占用的磁盘空间, 直到段合并后，被删除的文档所消耗的字节才会被回收。这种方法减少更新Lucene的索引数据和每次删除文档时的聚合统计数据的成本.

elasticsearch中对删除的说明:

<https://www.elastic.co/cn/blog/lucenes-handling-of-deleted-documents>

## elasticsearch添加, 索引和删除document



1. client发送一个 请求到node1(master)
2. node根据document的\_id,决定是否属于shard0, 然后将请求发送到node3(shard0的主分片所在)
3. node3在primary shard上执行请求, 如果成功,请求会并行的发送到node1 和node2 上的replica shards, 所有的replica shards返回成功后, node3返回成功给协调node,然后返回client.

### shard history retention leases*:*

对于新版本的Lucene, 删除后的文档,在merge后不会立即删除,称为soft delete.

在elasticsearch中设置:

**index.soft\_deletes.enabled 默认开启, 6.5.0版本后的功能**

**index.soft\_deletes.retention\_lease.period soft delete的过期时间, 默认为12h.**

#### 作用

如果一个replica shard掉线一段时间,恢复后需要完整拷贝primary shard的数据, 这会消耗大量网络带宽和时间.

shard history retention leases保留了index的操作记录, replica shard只需要执行一遍记录即可,比整个拷贝更容易.

另外如果要使用跨集群拷贝的功能必须开启soft delete.

### 批量添加document

如果有大量document要添加,使用bulk api 可以减少网络往返的耗时.

最佳批处理大小取决于许多因素:文档大小和复杂性、索引和搜索负载，以及集群可用的资源。需要测试返回时间以及node资源消耗才知道最佳的bulk数量。

### Index sorting

Lucene添加文档时默认不会排序, 如果索引排序,在flush和merge时会消耗更多的时间.

{

"settings": {

"index": {

"sort.field": "date",

"sort.order": "desc"

}

},

"mappings": {

"properties": {

"date": {

"type": "date"

}

}

}

}

使用场景:

如果要搜索top N的数据, 对index排序很有用.

# Lucene查询过程

核心类:IndexSearcher,其中的IndexReader作用是操作Directory,打开索引,提供底层文件读取的工作.

创建的IndexSearcher读取索引已有的快照,如果索引发生变更,如果没有新打开一个reader,搜索不会发生变化.

### 在elasticsearch中:

[index.max\_result\_window](https://www.elastic.co/guide/en/elasticsearch/reference/7.12/index-modules.html#index-max-result-window) 限制返回doc数量

#### Search type:

新版本的elasticsearch中已经移除了一部分搜索类型,比如query\_and\_fetch.

##### query then fetch:

elasticsearch 默认的搜索类型, 工作流程如下:

1. 发送query请求到每个shard.
2. 查找所有符合的documents, 使用本地Term/Document Frequencies 计算分数
3. 把结果构建成一个priority queue
4. 把结果(document is not sent yet, just the scores)返回给协调节点.
5. 协调节点把来自每个shard的scores被合并和排序, 根据查询条件选择docId.
6. 最后，根据id从保存它们的各个shard检索实际的文档。
7. 返回结果给client.

存在问题:

文档默认通过\_id的hash值分发到各个shard, 这就导致某些情况下相同的term在每个shard的词频不一样,算出的得分有差异.

##### DFS query then fetch:

与query then fetch不同点: 执行预查询来计算global document frequencies.

工作流程:

1. 预查询每个shard的term和document frequencies.
2. 发送query请求到每个shard.
3. 查找所有符合的documents, 使用来自预查询的全局Term/Document Frequencies 计算分数
4. 把结果构建成一个priority queue.
5. 把结果(document is not sent yet, just the scores)返回给协调节点.
6. 协调节点把来自每个shard的scores被合并和排序,根据查询条件选择docId.
7. 最后，从保存它们的各个shard检索实际的文档。
8. 返回结果给client.

改为DFS query then fetch:

search\_type=dfs\_query\_then\_fetch

##### 比较两种搜索方式:

DFS query then fetch拥有更好的准确性, 但是, 预查询会导致shard之间的额外往返，这可能会导致性能损失，具体取决于索引的大小、shard的数量、查询速率等。在大多数情况下，完全没有必要用DFS query then fetch。

### 查询类:

#### TermQuery:

最基本的搜索, 对特定项进行搜索,如果类型为Text,且进行分词操作,会返回包含的文档,如果为String类型或者没有进行分词,则匹配等于term的文档.

#### BooleanQuery

private static int *maxClauseCount* = 1024;

嵌入和组合其他的query,最多允许1024个组合

elasticsearch中设置:

**indices.query.bool.max\_clause\_count**

MUST: 交集

FILTER: 交集

SHOULD: 并集.

MUST NOT: 不等于.

##### 一些区别

默认情况下，Elasticsearch按相关性得分对匹配的搜索结果进行排序，该得分衡量每个文档与查询的匹配程度。

在filter和must\_not上下文中，查询子句回答问题“此文档是否与此查询子句匹配？答案是简单的“是”或“否”-不计算分数。

常用的过滤器将由Elasticsearch自动缓存，以提高性能。

elasticsearch用must对比filter:

###### filter

GET /source-ip/\_search

{

"query": {

"bool": {

"filter": [

{

"term": {

"countryName.keyword": "South Korea"

}

}

]

}

},

"size": 10000

}

结果:



###### must



如果不计算相关性得分,最好使用filter,性能更好

#### BoostQuery

自定义评分因子,可以设置某个条件的评分更高

{

"query": {

"boosting": {

"positive": {

"term": {

"text": "apple"

}

},

"negative": {

"term": {

"text": "pie tart fruit crumble tree"

}

},

"negative\_boost": 0.5

}

}

}

positive :documents必须匹配

negative: 匹配到的项相关度降低

negative\_boost: 降低的度.

最终得分:

positive项的原始得分\*negative\_boost的值

#### FuzzQuery:

基于levenshtein最短编辑距离查询,旧版Lucene枚举所有term进行编辑距离计算,性能开销很大. 新版本有所改进用levenshtein automaton(了解), 在FST中枚举所有满足编辑距离的term, 并且限制最大编辑距离为2, 在性能有一定提高, 但是匹配数据量可能也很大,类似wildcard.

#### MatchALLDocsQuery:

不走倒排索引,默认不评分不排序.

#### DisjunctionMaxQuery

\* If the query is "albino elephant" this ensures that "albino" matching one field and "elephant" matching  
\* another gets a higher score than "albino" matching both fields.

同样影响评分, 如果我们查询的是albino elephant,则我们可以让匹配一个albino和一个elephant的分数高于只含有两个albino的文档

{

"query": {

"dis\_max": {

"queries": [

{ "term": { "title": "Quick pets" } },

{ "term": { "body": "Quick pets" } }

],

"tie\_breaker": 0.7

}

}

}

1. 从具有最高分数的匹配子句中获取相关性分数。
2. 将任何其他匹配子句的分数乘以该tie\_breaker值。
3. 将最高分数加到相乘的分数上

#### ConstantScoreQuery

A query that wraps another query and simply returns a constant score equal to  
\* 1 for every document that matches the query.  
\* It therefore simply strips of all scores and always returns 1.

包装其他查询, 使查询结果的每个document的score都为1,忽略文档评分,效率会有所提高

elasticsearch可以调整boost参数,但是每个document的score都是统一值:

{

"query": {

"constant\_score": {

"filter": {

"term": {

"index\_store\_field": "3"

}

},

"boost": 1.0

}

}

}

#### highlighting

高亮需要field设置为store, elasticsearch中field默认都为false, 但elasticsearch会从\_source中提取,所以禁用\_source不能使用highlighting.

种类:

unified: 将text拆分成句子,通过BM25评分, 默认模式.

plain: 适合单个field

fvh: fast vector highlighter, 通过term\_vector(with\_positions\_offsets)的内容来实现.

offset信息来源:

highlighter需要知道每个单词相对于原始text的起始和结束偏移量.offset可以从以下地方获取:

1. indexOptions中设置的offsets
2. term\_vector中的with\_positions\_offsets

示例:

{

"query" : {

"match": { "user.id": "kimchy" }

},

"highlight" : {

"number\_of\_fragments" : 3,

"fragment\_size" : 150,

"fields" : {

"body" : { "pre\_tags" : ["<em>"], "post\_tags" : ["</em>"] },

"blog.title" : { "number\_of\_fragments" : 0 },

"blog.author" : { "number\_of\_fragments" : 0 },

"blog.comment" : { "number\_of\_fragments" : 5, "order" : "score" }

}

}

}

#### Suggester

##### Term suggester:

基于最短编辑距离实现. suggest text内容会被先分词,然后根据分词,提供指定编辑距离的建议单词.

suggest\_mode:

* missing: 输入的词没有在索引中才返回suggest, 默认.
* popular: 返回比输入的词频率更高的suggest.
* always: 返回任何匹配的suggest.

使用示例:

{  
 "suggest": {  
 "my-suggest-1" : {  
 "text" : "tring out Elasticsearch",  
 "term" : {  
 "field" : "message"  
 }  
 },  
 "my-suggest-2" : {  
 "text" : "kmichy",  
 "term" : {  
 "field" : "user.id"  
 }  
 }  
 }  
}

结果:

{  
 "\_shards": ...  
 "hits": ...  
 "took": 2,  
 "timed\_out": false,  
 "suggest": {  
 "my-suggest-1": [ {  
 "text": "tring",  
 "offset": 0,  
 "length": 5,  
 "options": [ {"text": "trying", "score": 0.8, "freq": 1 } ]  
 }, {  
 "text": "out",  
 "offset": 6,  
 "length": 3,  
 "options": []  
 }, {  
 "text": "elasticsearch",  
 "offset": 10,  
 "length": 13,  
 "options": []  
 } ],  
 "my-suggest-2": ...  
 }  
}

##### Phrase Suggester:

提供单词拼写纠正和句子纠正功能.

{

"suggest": {

"text": "noble prize",

"simple\_phrase": {

"phrase": {

"field": "title.trigram",

"size": 1,

"gram\_size": 3,

"direct\_generator": [ {

"field": "title.trigram",

"suggest\_mode": "always"

} ],

"highlight": {

"pre\_tag": "<em>",

"post\_tag": "</em>"

}

}

}

}

}

结果:

{

"\_shards": ...

"hits": ...

"timed\_out": false,

"took": 3,

"suggest": {

"simple\_phrase" : [

{

"text" : "noble prize",

"offset" : 0,

"length" : 11,

"options" : [ {

"text" : "nobel prize",

"highlighted": "<em>nobel</em> prize",

"score" : 0.48614594

}]

}

]

}

}

##### Completion suggester:

能够做到输入即时响应, 但是构建成本很高,并且都保存在内存中.

completion索引都放在单个shard,响应速度会更快.elasticsearch的解释:

In case of completion queries spanning more than one shard, the suggest is executed in two phases, where the last phase fetches the relevant documents from shards, implying executing completion requests against a single shard is more performant due to the document fetch overhead when the suggest spans multiple shards. To get best performance for completions, it is recommended to index completions into a single shard index. In case of high heap usage due to shard size, it is still recommended to break index into multiple shards instead of optimizing for completion performance.

{

"mappings": {

"properties": {

"suggest": {

"type": "completion"

},

"title": {

"type": "keyword"

}

}

}

#### from size

从每个shard提取相应数量的doc,然后汇总筛选出想要的数据.

例如某个index有5个shard, 查询from 90, size 10, elasticsearch从每个分片各提取100条相关数据,然后汇总成500条,全局排序后,返回最后10条.

虽然search then fetch模式在协调节点内只保存score和docId, 但是工作量为shard\*(from+size), 如果from特别大,排序工作量也很大, 并且丢弃的无效结果也越多.

#### scroll

滚动查询, 适用于大量数据查询, 查询需要设置一次处理的过期时间, 每次搜索需要在这个时间内完成, 过期时间也不宜设置过长, 保存快照耗费内存.

执行完query阶段后, 把查询结果集(docId列表)保留一段时间, 之后不再重新获取数据,所以取到的数据不是最新数据.

POST /twitter/\_search?scroll=1m

{

"size": 100,

"query": {

"match" : {

"title" : "elasticsearch"

}

}

}

再次翻页

POST /\_search/scroll

{

"scroll" : "1m",

"scroll\_id" : "DXF1ZXJ5QW5kRmV0Y2gBAAAAAAAAAD4WYm9laVYtZndUQlNsdDcwakFMNjU1QQ=="

}

#### Search\_after

实现和scroll相似, 但是可以查询实时数据, 需要指定排序且唯一的字段, 需从第一页开始搜索.

原理是维护了一个实时cursor, 通过doc的全局唯一field值来sort完成.

如果两个请求之间发生了一次refresh,则两次结果的顺序可能不一致, 如果要保持一致,可以创建一个point in time(PIT)确保当前索引状态.

## 分页比较

form size 方式使用最灵活方便,在不做深分页或者限制from的情况下比较适合.

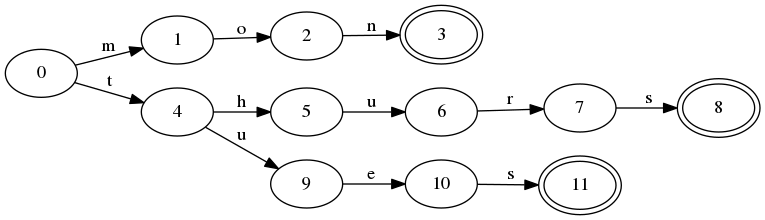
scroll 不再建议使用

search\_after 在近实时查询, 可能涉及到深分页的情况下使用.

### FST索引

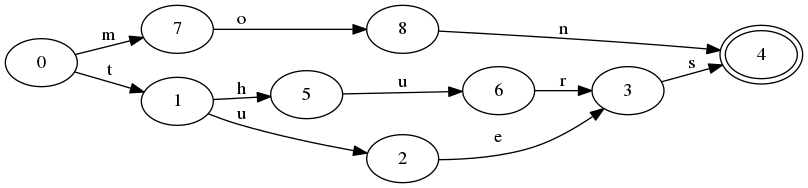
#### Trie结构

单词树结构,共享前缀



#### FSA结构

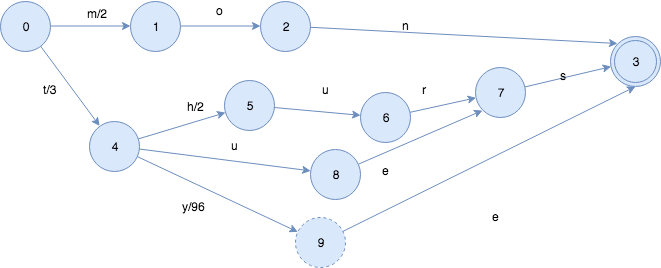
finite state acceptor(有限状态接收器),与Trie的区别在于FSA共享后缀,空间比Trie占用更少,构建也更复杂.



#### FST结构

FST(finite state transducer) 有限状态转换器

FST和FSA很相似,不同点在于FST给定一个key除了能知道是否存在,还能输出一个关联的值.



FST优点:

1. 不仅可以查询是否存在,还可以做值的转换. key-> value
2. 通过对词典中单词前缀和后缀的重复利用,压缩了存储空间
3. 可以方便实现范围,前缀,后缀查询,时间复杂度O(len(str))

缺点:

1. 构建较为复杂,单词必须先排序.

#### Lucene提供的FST工具

String inputValues[] 
long outputValues[] 
{"cat", 
"dog", 
12}; 
"dogs 
Positivelntoutputs outputs 
builder 
Positivelntoutputs . getSingleton(); 
new (INPUT_TYPE.BYTEI, 
outputs); 
BytesRef scratchBytes = new BytesRef(); 
IntsRefBuilder scratchlnts = new IntsRefBuilder(); 
@; i &lt; inputValues.length; i++) 
for (int i 
scratchBytes . 
builder.add(Util.toIntsRef(scratchBytes, scratchlnts), 
builder.finish(); 
fst 
outputValues[i]); 
Retrieval by key: 
<pre class="prettyprint"> 
Util.get(fst, 
Long value 
System . out .println(1'alue); 
Retrieval by value: 
<pre class="prettyprint"> 
new BytesRef("dog")); 
// Only works because outputs are also in sorted order 
Util.getBy0utput(fst, 12); 
IntsRef key 
System.out scratchBytes) .utf8ToString()); 
// dogs 
Iterate over key-value pairs in sorted order: 
<pre class="prettyprint"> 
// Like TermsEnum, this also supports seeking (advance) 
new BytesRefFSTEnum&lt;Long&gt; (fist); 
BytesRefFSTEnum&lt;Long&gt; iterator 
while (iterator.next() != null) { 
iterator. current(); 
mapEntry 
System . out .println(mapEntry . input . utf8ToString()) ; 
System . out .println(mapEntry . output) ; 

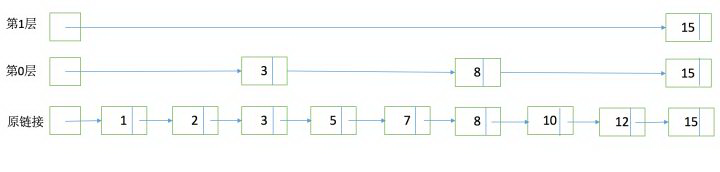
注意事项:

必须根据Unicode code排序(UTF8或UTF32). Java中的String.compareTo是根据UTF16排序,会导致结果不正确.

// Input values (keys). These must be provided to Builder in Unicode code point (UTF8 or UTF32) sorted order 
// Note that sorting by Java's String.compareTo, which is UTF16 sorted order, is not correct and can lead to 
exceptions while building the EST: 

### posting lists 倒排表结构:

一般结构:



Lucene中的实现

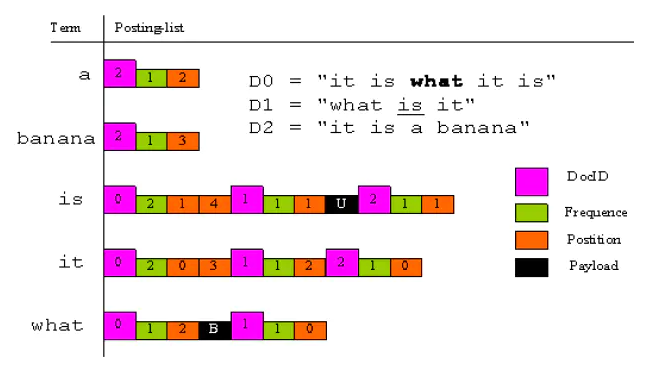
Lucene84PostingsWriter

Concrete class that writes docId(maybe frq,pos,offset,payloads) list with postings format.  
Postings list for each term will be stored separately.

Lucene84SkipWriter:

\* For each skip point, we will record:   
\* 1. docID in former position, i.e. for position 12, record docID[11], etc.  
\* 2. its related file points(position, payload),   
\* 3. related numbers or uptos(position, payload).  
\* 4. start offset.

Lucene中的pos, frq,payloads大致结构:



### BKD tree

#### Lucene数值类型演化:

参考:

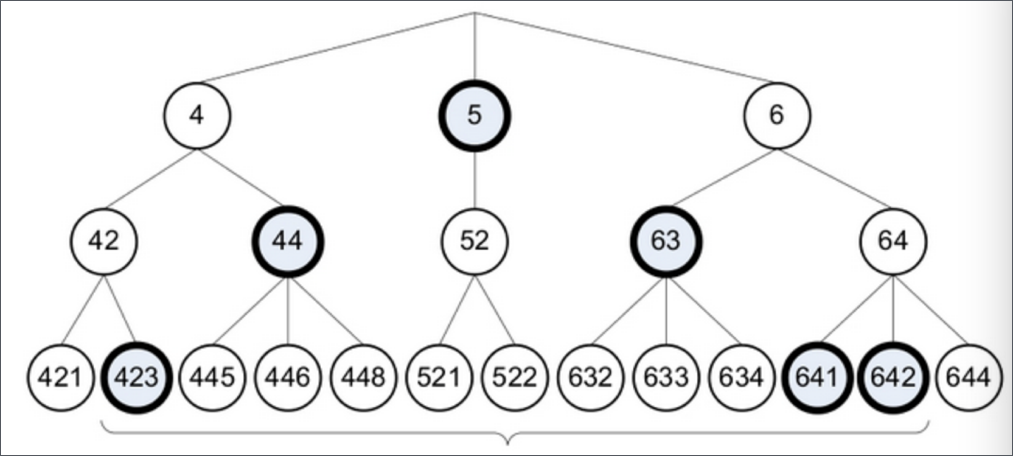
<https://www.elastic.co/cn/blog/apache-lucene-numeric-filters>

##### text时代:

在Lucene之前版本(2.9前),任何数据都是text类型. 例如索引: 17,2, 23, 要让2排序以后在17之前, 就统一数据位数,在2左边补0. 这样虽然能够满足数值和范围搜索,但是补0浪费了索引的空间,其次如果要索引一个10位数,但是之前的索引只有9位,则需要重新索引.在范围查询的时候会遍历大量的数据,会导致查询缓慢.

##### number tries:

2.9版本开始,使用一种number类型的trie来做数值范围搜索



当我们要查询符合[423,642]区间的数据时，我们只需要遍历number tries，匹配存在图中黑色加粗标识的几个数字即可。图中即为423，44，5，63，641，642, 这样查询的数量级大大的降低. 但是这样的number tries非常大, 另外number trie的分词是ASCII标记, 不兼容Lucene4.0的索引任何二进制数据的能力.

##### Geo-spatial:

Lucene6.0开始,为了改进地理空间搜索,使用了BKD(block K dimension) tree结构, 用于快速多维点过滤, Lucene最初的目标是使用bkd-tree来快速搜索2D和3D的地理空间, 后来发现这种数据结构也非常适合一维(一维的bkd-tree退化为二叉树)数字的情况.

bdk-tree相关:

<https://users.cs.duke.edu/~pankaj/publications/papers/bkd-sstd.pdf>

#### bkd-tree优点:

bkd-tree取代了弃用的数字字段和数字范围查询,因为它具有更好的总体性能和更通用的特性.

#### bkd-tree缺点:

构建比较复杂,并且一旦构建完成,再进行增删改会几乎改变整棵树的数据.

#### Lucene中的bkd tree:



一个points类型的field最多支持8个纬度.

#### term排序方式(了解)

##### Radix sort 基数排序

LSBRadixSorter(右边开始比较, 适用于无符号整型数据) MSBRadixSorter(左边开始比较)

是一种非比较型整数排序算法，其原理是将整数按位数切割成不同的数字，然后按每个位数分别比较。由于整数也可以表达字符串（比如名字或日期）和特定格式的浮点数，所以基数排序也不是只能使用于整数。

 实现：将所有待比较数值（正整数）统一为同样的数位长度，数位较短的数前面补零。然后，从最低位开始，依次进行一次排序。这样从最低位排序一直到最高位排序完成以后，数列就变成一个有序序列。

 时间复杂度O(kn)

空间复杂度O(k+n)

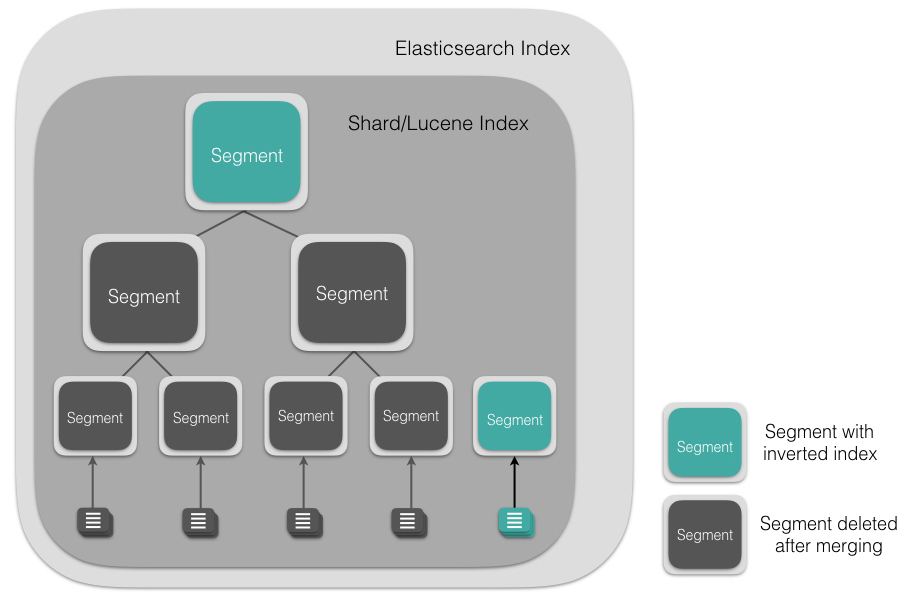
k为比特位数 n为要比较的数的个数.

##### 内省排序

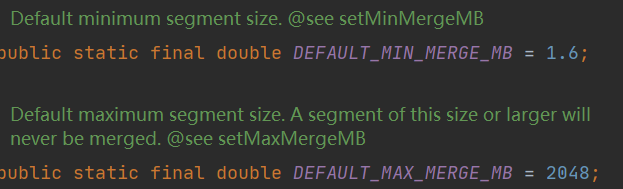
IntroSorter

从快速排序开始，当递归深度超过一定深度（深度为排序元素数量的对数值）后转为堆排序,如果数据量较少,则使用二分排序.

# segments的合并过程

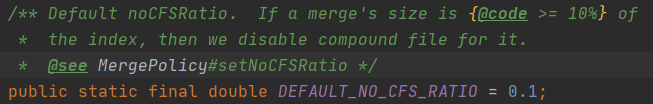


索引的合并目的是为了提高搜索速度, 在合并期间,会占用较多的磁盘空间和内存, 在merge前,需要保证有足够的资源, 当结束操作后,磁盘占用的空间会比初期少(索引合并压缩, 实际删除document等). 一个segment达一定规模后,就不再进行merge操作.



Lucene中默认segment达到1.6M才会被merge. 达到2GB就不再merge(IndexWriter.forceMerge可能还会触发merge).

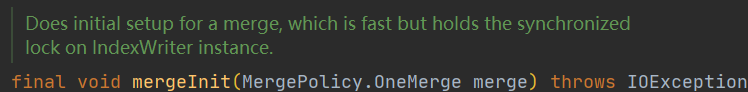
如果一次merge的segments大小达到索引的10%,则会使用多文件类型:



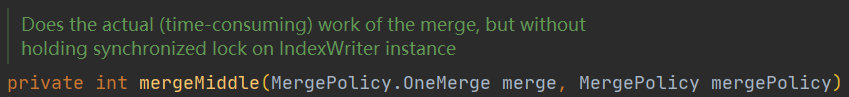
Lucene的segment合并默认使用ConcurrentMergeScheduler, 这是一个多线程合并Scheduler. 这个merge分为三个阶段, 第一阶段需要竞争锁,获取各自需要merge的segment, 第二阶段merge各自线程的segment,这一阶段并发执行,也是最耗时的,第三阶段加锁写segment\_N等工作. 整个过程第一和第三阶段需要加锁,但是基本不耗时.

了解:

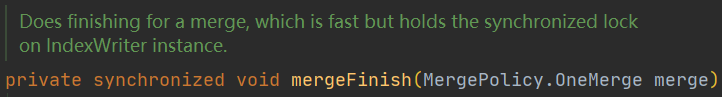
阶段一:



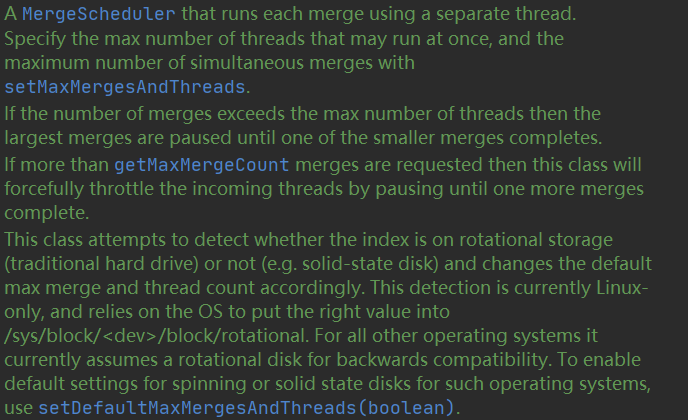
阶段二:



阶段三:



ConcurrentMergeScheduler说明:



### 合并的内容:

#### 正向信息:

.fnm文件的数据在mergeFieldInfos方法中操作

一个fieldinfo包含以下内容:

private 
private 
private 
private 
private 
private 
private 
private 
private 
final 
final 
final 
final 
final 
final 
final 
final 
final 
boolean 
boolean 
boolean 
boolean 
boolean 
boolean 
boolean 
boolean 
hasFreq; 
hasProx; 
hasPayloads; 
hasOffsets; 
hasVectors; 
hasNorms; 
hasDocValues; 
hasPointVaIues; 
String softDeIetesFieId; 

 fdx/fdt文件的合并,在CompressingStoredFieldsWriter的merge方法中执行,如果两个segment的fieldinfo完全相同, 则可以把一个segment的fdt内容直接拷贝到另一个后面,如果不一样,则会对每篇文档进行添加,这样合并效率会变得很低,所以同一个索引不建议不同的文档有不同的field.

* If all readers are compressed and they have the same fieldinfos then we can merge the serialized document 
* directly. 
subs = 
new ArrayList<>(); 
for(int eState.storedFieldsReaders.len th •i++) { 
if (matching.matchingReaders[i] && 
mergeState. storedFieldsReaders [i] instanceof CompressingStoredFieIdsReader) { 
ompressxng ore le s ea er s ore xe s ea er = 
storedF ieIdsReader . checklntegrity ( ) ; 
ompressxng 
ore le s eader) mergeState.storedFieIdsReaders[i] ; 
mergeState.docMaps[i], mergeState.maxDocs[i])); 
subs.add(new CompressingStoredFieIdsMergeSub(storedFieIdsReader, 
} else { 
return super.merge(mergeState); 

#### 反向信息:

合并词典和倒排表(了解):

在倒排表中,文档号要求从小到大顺数排序,在每个segment中,文档号都是从0开始编号.

反向信息的合并包含两部分

1. 对字典的合并,需要对词典中的term进行重新排序
2. 对于相同的term,对包含此term的文档号列表进行合并,需要对文档号重新编号.

对于文档重新编号,相对容易,两个段合并的时候,第二个编号都增加一个偏移量(前一个文档的个数)

对词典term的合并,需要排序, 需要找出两个段中相同的词, Lucene通过PriorityQueue来实现, queue按照字典顺序排序, 在queue中用来排序的key是它代表的段中的第一个term.

# 评分机制:

elasticsearch新版本的默认的评分算法是BM25, 一种改进的TF-IDF算法.

### TF-IDF

词频-逆文档频率

优点:

简单,快速.

缺点:

依赖term/document词频, 超过一定数量级, 相关度不够准确.

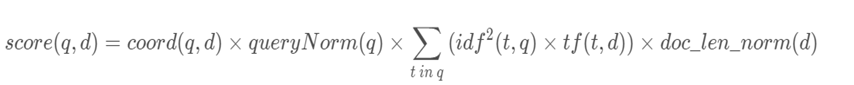
TF-IDF有两层意思，一层是"词频"(Term Frequency, TF），另一层是"逆文档频率"（Inverse Document Frequency，IDF）

逆文档频率:

如果一个词在很多的doc中出现, 那么它的IDF值应该低, 如果一个词在比较少的doc中出现,那么它的IDF值应该高.

TF-IDF综合了TF和IDF, 优点是简单快速，而且容易理解。缺点是有时候用词频来衡量文章中的一个词的重要性不够全面，有时候重要的词出现的可能不够多，而且这种计算无法体现位置信息，无法体现词在上下文的重要性。

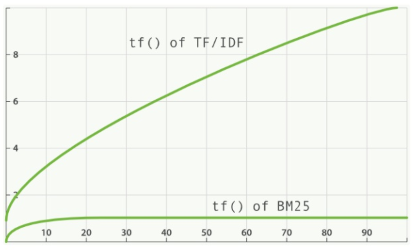
评分公式:

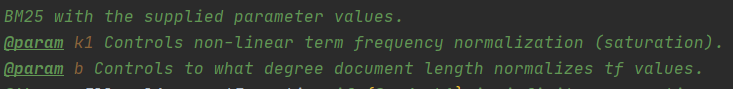


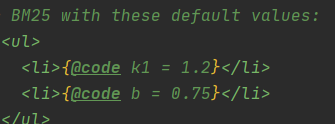
### BM25

BM25算法是对TF\_IDF算法的改进, 对于 TF-IDF 算法，TF(t) 部分的值越大，整个公式返回的值就会越大。

BM25 就针对这点进行来优化，随着TF(t) 的逐步加大，该算法的返回值会趋于一个数值。







BM25 有一个比较好的特性就是它提供了两个可调参数：

**k1**

这个参数控制着词频结果在词频饱和度中的上升速度。默认值为 1.2 。值越小饱和度变化越快，值越大饱和度变化越慢。

**b**

这个参数控制着字段长归一值所起的作用， 0.0 会禁用归一化， 1.0 会启用完全归一化。默认值为 0.75 。

### es中的配置

properties": {

"title": {

"type": "string",

"similarity": "BM25"

},

"body": {

"type": "string",

"similarity": "default"

}

}

#### 对bm25参数的调整

参考:

<https://www.elastic.co/guide/cn/elasticsearch/guide/current/pluggable-similarites.html#bm25-tunability>

"settings": {

"similarity": {

"bm25\_similarity": {

"type": "BM25",

"b": 0

}

}

}

#### 配置DFR:

{

"settings": {

"index": {

"similarity": {

"my\_similarity": {

"type": "DFR",

"basic\_model": "g",

"after\_effect": "l",

"normalization": "h2",

"normalization.h2.c": "3.0"

}

}

}

}

}

#### 配置IB:

"similarity" : {

"ib\_similarity" : {

"type" : "IB",

"distribution" : "ll",

"lambda" : "df",

"normalization" : "z",

"normalization.z.z" : "0.25"

}

}

# elasticsearch部分

## 节点类型:

如果在elasticsearch.yml中指定了节点的角色,则该节点知会被指定为该角色, 如果没有设置,则可能被动态分配

node.roles: [ data, master, voting\_only ]

注意: Only nodes with the master role can be marked as having the voting\_only role.

参考:

<https://www.elastic.co/guide/en/elasticsearch/reference/master/modules-node.html#modules-node>

### master(主节点)

负责管理elasticsearch集群, 负责索引的创建/删除, 管理其他节点上的shard.

### data node(数据节点)

存放数据,负责数据的增删改查,聚合,排序. 对机器配置要求较高.

### ingest node(提取节点)

在数据写入data node之前对数据进行一些处理.

示例:

PUT \_ingest/pipeline/test\_ingtest

{

"description": "test ingtest",

"processors": [

{

"uppercase": {

"field": "name"

}

}

]

}

使用:

PUT /es-test\_3/\_doc/10?pipeline=test\_ingtest

{

"name": "the letters are all lowercase"

}

### Remote-eligible node

连接其他集群,用于跨集群搜索,跨集群同步数据.

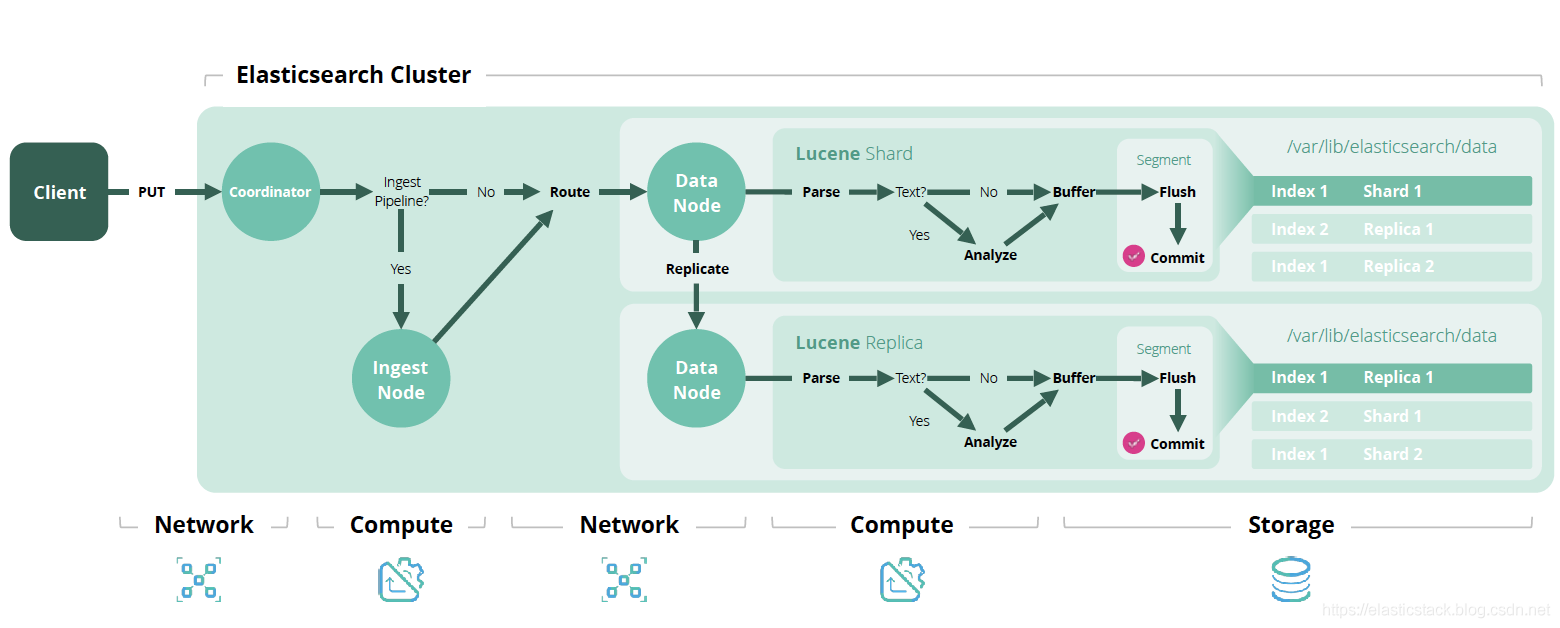
node.roles: [ remote\_cluster\_client ]

### coordinating node(协调节点)

每一个节点都是一个潜在的协调节点, 如果一个节点设置的node.roles是一个空list, 它将只会充当coordinating node, 且不能被禁用. 协调节点最大的作用就是转发请求,将各个shard里面的数据汇集起来一并返回给客户端, 因此coordinating node需要有足够的CPU和内存去处理gather阶段.

node.roles: [ ]

### 节点工作概览



## heap的设置(了解)

By default, Elasticsearch automatically sizes JVM heap based on a node’s roles and total memory. We recommend this default sizing for most production environments. If needed, you can override default sizing by manually setting the heap size.

默认情况下elasticsearch会根据node的角色和总内存,自动设置堆大小.

如果要自定义heap:

* Set Xmx and Xms to no more than 50% of your total system memory. Elasticsearch requires memory for purposes other than the JVM heap and it is important to leave space for this. For instance, Elasticsearch uses off-heap buffers for efficient network communication, relies on the operating system’s filesystem cache for efficient access to files, and the JVM itself requires some memory too. It is normal to observe the Elasticsearch process using more memory than the limit configured with the Xmx setting.
* Set Xmx and Xms to no more than the threshold that the JVM uses for compressed object pointers (compressed oops). The exact threshold varies but is near 32 GB. You can verify that you are under the threshold by looking for a line in the logs like the following:

heap size [1.9gb], compressed ordinary object pointers [true]

* Set Xmx and Xms to no more than the threshold for zero-based compressed oops. The exact threshold varies but 26GB is safe on most systems and can be as large as 30GB on some systems. You can verify that you are under this threshold by starting Elasticsearch with the JVM options -XX:+UnlockDiagnosticVMOptions -XX:+PrintCompressedOopsMode and looking for a line like the following:

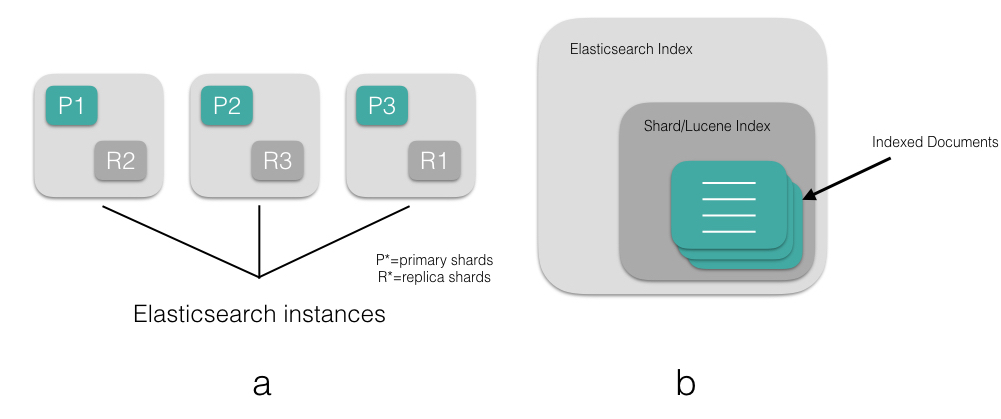
heap address: 0x000000011be00000, size: 27648 MB, zero based Compressed Oops

This line shows that zero-based compressed oops are enabled. If zero-based compressed oops are not enabled, you’ll see a line like the following instead:

heap address: 0x0000000118400000, size: 28672 MB, Compressed Oops with base: 0x00000001183ff000

The more heap available to Elasticsearch, the more memory it can use for its internal caches. This leaves less memory for the operating system to use for the filesystem cache. Larger heaps can also cause longer garbage collection pauses.

## shard



elasticsearch的shard分为primary shard和replica shard. 一个shard是一个Lucene的index.

一个index可以分成多个shard, 有利于提高性能, 可以想象成关系型数据库中的分库分表,

replica shard是primary shard的数据备份. 既可以提高数据可用性,也可以提高查询吞吐量.

elasticsearch的primary shard数量在创建的时候指定,后面不能修改, replica shard数量可以修改, 一个document被放在哪个shard,elasticsearch通过shard = hash(routing) % number\_of\_primary\_shards来确定, 默认情况routing是document的\_id, 可以指定.

越多的shard查询起来越快, 但是维护更耗性能,所以一个准则是每GB空间不超过20个shard.

### shard 查询

Nodes and shards used for the search. By default, Elasticsearch selects from eligible nodes and shards using [adaptive replica selection](https://www.elastic.co/guide/en/elasticsearch/reference/current/search-shard-routing.html#search-adaptive-replica), accounting for [allocation awareness](https://www.elastic.co/guide/en/elasticsearch/reference/current/modules-cluster.html#shard-allocation-awareness).

**\_only\_local**

Run the search only on shards on the local node.

**\_local**

If possible, run the search on shards on the local node. If not, select shards using the default method.

**\_only\_nodes:<node-id>,<node-id>**

Run the search on only the specified nodes IDs. If suitable shards exist on more than one selected nodes, use shards on those nodes using the default method. If none of the specified nodes are available, select shards from any available node using the default method.

**\_prefer\_nodes:<node-id>,<node-id>**

If possible, run the search on the specified nodes IDs. If not, select shards using the default method.

**\_shards:<shard>,<shard>**

Run the search only on the specified shards. This value can be combined with other preference values, but this value must come first. For example: \_shards:2,3|\_local

**<custom-string>**

Any string that does not start with \_. If the cluster state and selected shards do not change, searches using the same <custom-string> value are routed to the same shards in the same order.

示例: 指定为local:

GET /my-index-000001/\_search?preference=\_local

{

"query": {

"match": {

"user.id": "kimchy"

}

}

}

## Translog

可以类比MySQL的binlog, 目的是保证数据安全性.

**index.translog.sync\_interval 设置刷盘时间, 默认为5s, 不允许低于100ms**

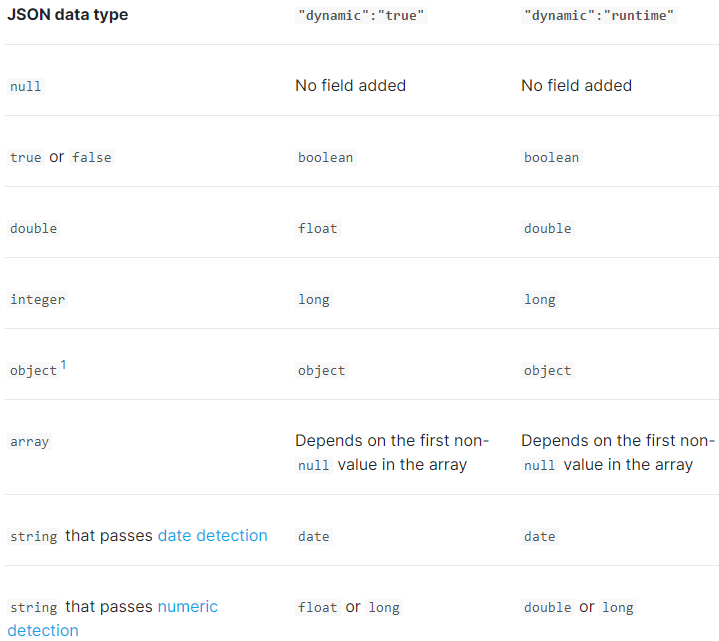
**index.translog.flush\_threshold\_size 设置数据大小,默认512m**

## Flush

elasticsearch的flush对应Lucene中的flush和commit过程, 将数据持久化到磁盘,并且删除缓存中的数据.

## dynamic field mapping(了解)

elasticsearch的dynamic可以设置为true或者runtime, 不同点:



date detectin

{

"mappings": {

"date\_detection": false

}

}

如果时间检测没有开启,字符串类型的时间会被保存为字符串类型

## elasticsearch as a time series data store

refer to:

<https://www.elastic.co/cn/blog/elasticsearch-as-a-time-series-data-store>

# 附录:

## 构建一棵kd-tree:

1、初始化分割轴：对每个维度的数据进行方差的计算，取最大方差的维度作为分割轴，标记为r；  
2、确定节点：对当前数据按分割轴维度进行检索，找到中位数数据，并将其放入到当前节点上；  
3、划分双支：  
 划分左支：在当前分割轴维度，所有小于中位数的值划分到左支中；  
 划分右支：在当前分割轴维度，所有大于等于中位数的值划分到右支中。  
4、更新分割轴：r = (r + 1) % k;  
5、确定子节点：  
 确定左节点：在左支的数据中进行步骤2；  
 确定右节点：在右支的数据中进行步骤2；

### 二维kd-tree构建示例：

{（2,3），（5,4），（9,6），（4,7），（8,1），（7,2）}

#### 1、初始化分割轴：

 计算结果x轴的方差较大，所以，最开始的分割轴为x轴。

#### 2、确定当前节点：

 对{2，5，9，4，8，7}找中位数，发现{5,7}都可以，这里我们选择7，也就是(7,2);

#### 3、划分双支数据：

 在x轴维度上，比较和7的大小，进行划分：

 左支：{(2,3)，(5,4)，(4,7)}

 右支：{(9,6)，(8,1)}

#### 4、更新分割轴：

 一共就两个维度，所以，下一个维度是y轴。

#### 5、确定子节点：

左节点：在左支中找到y轴的中位数(5,4)，左支数据更新为{(2,3)}，右支数据更新为{(4,7)}

 右节点：在右支中找到y轴的中位数(9,6)，左支数据更新为{(8,1)}，右支数据为null。

#### 6、更新分割轴：

 下一个维度为x轴。

#### 7、确定(5,4)的子节点：

 左节点：由于只有一个数据，所以，左节点为(2,3)

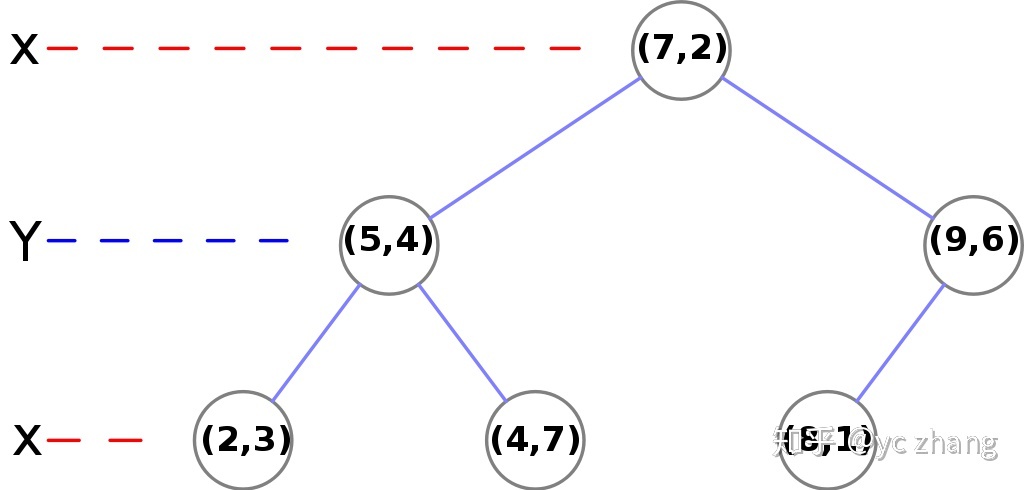
 右节点：由于只有一个数据，所以，右节点为(4,7)

#### 8、确定(9,6)的子节点：

 左节点：由于只有一个数据，所以，左节点为(8,1)

 右节点：右节点为空。

 最终，就可以构建整个的kd-tree。



### kd-tree的最近邻检索:

我们只需要定位到对应的分支上，找到最接近的点就可以了。

示例：查找(2.1,3.1)的最近邻。

1. 计算当前节点(7,2)的距离，为6.23，并且暂定为(7,2)，根据当前分割轴的维度（2.1 < 7），选取左支。
2. 计算当前节点(5,4)的距离，为3.03，由于3.03 < 6.23，暂定为(5,4)，根据当前分割轴维度（3.1 < 4），选取左支。
3. 计算当前节点(2,3)的距离，为0.14，由于0.14 < 3.03，暂定为(2,3)，根据当前分割轴维度（2.1 > 2），选取右支，而右支为空，回溯上一个节点。
4. 计算(2.1,3.1)与(5,4)的分割轴{y = 4}的距离，如果0.14小于距离值，说明就是最近值。如果大于距离值，说明，还有可能存在值与(2.1,3.1)最近，需要往右支检索。

由于0.14 < 0.9，我们找到了最近邻的值为(2,3)，最近距离为0.14。

1. 多个近邻其实和一个最近邻类似，不过是存储区间变为了多个，判定方法还是完全一样。

## DFR

随机性偏差模型, 由三部分组成: 选择基本随机性模型, 应用第一次的正常化, 规范化词的频率.

基于假设: 在包含随机模型M的文档中，d词语的重要程度与它出现的频率反相关.

base\_model:

g 几何逼近的玻色-爱因斯坦模型

if 逆词频率模型

in 逆文档频率模型

ine 逆预期文档频率模型

after\_effect:

b: 两种伯努利过程的比值

l: 拉普拉斯L模型