Московский Государственный Технический Университет им. Н.Э. Баумана

СИСТЕМЫ ОБРАБОТКИ БОЛЬШИХ ДАННЫХ

Разработка приложений

к.т.н.
Папулин Сергей Юрьевич
papulin_bmstu@mail.ru

Москва, 2017/19

Лекция 10. Обработка графов
Spark GraphX

Основные темы

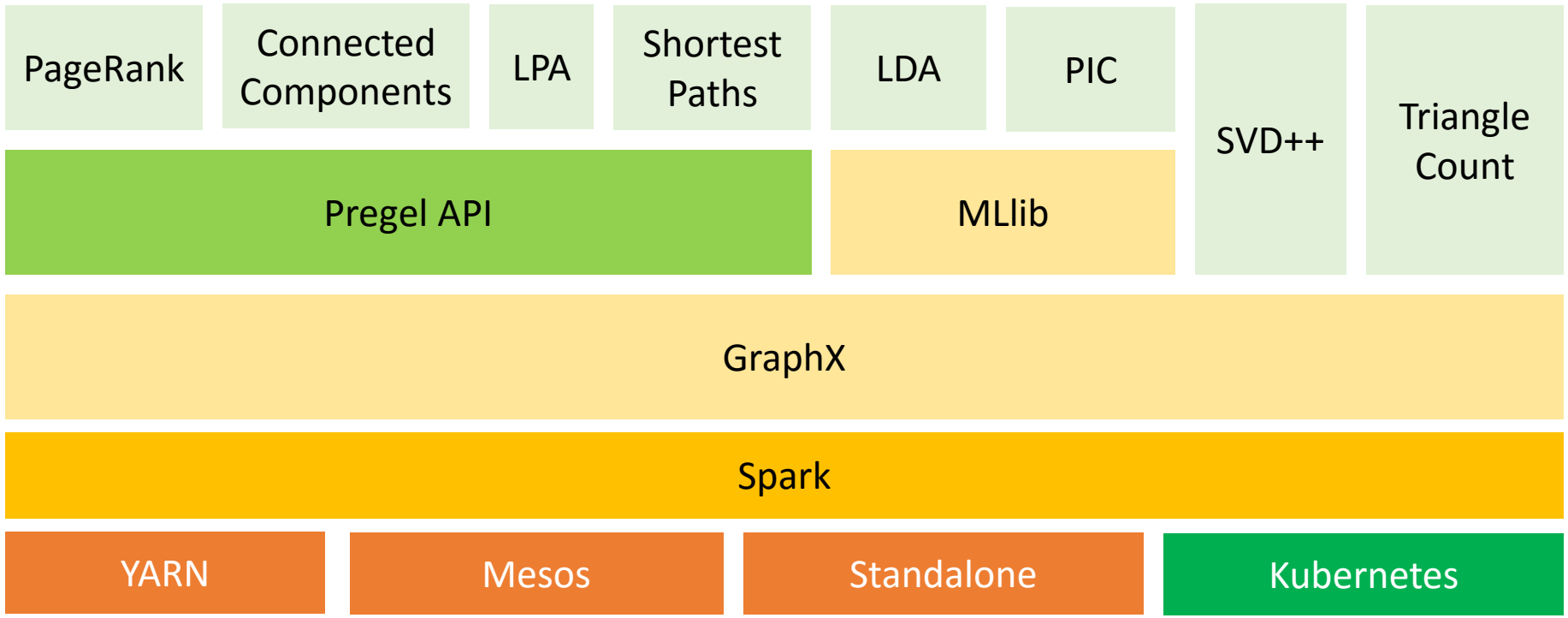
- Назначение и особенности
- Модель данных и вычислений
- Распределенный граф в GraphX
- Операторы
- Сравнение

Spark GraphX

Назначение и особенности GraphX

- Построен на основе Spark RDD
- Граф в GraphX – направленный мульти-граф с определяемыми пользователем свойствами/атрибутами вершин и ребер
- Граф представляется как распределенная неизменяемая структура, состоящая из RDD вершин и ребер
- Предоставляет набор операторов для выполнения операций над графом (subgraph, joinVertices, aggregateMessages, Pregel API)
- Содержит набор высокоуровневых алгоритмов, таких как PageRank, ConnectedComponents и др.

Стек


PageRank
Connected Components
LPA
Shortest Paths
LDA
PIC
SVD++
Triangle Count
Pregel API
MLlib
GraphX
Spark
YARN
Mesos
Standalone
Kubernetes


hadoop


cassandra


APACHE
HBASE


MySQL

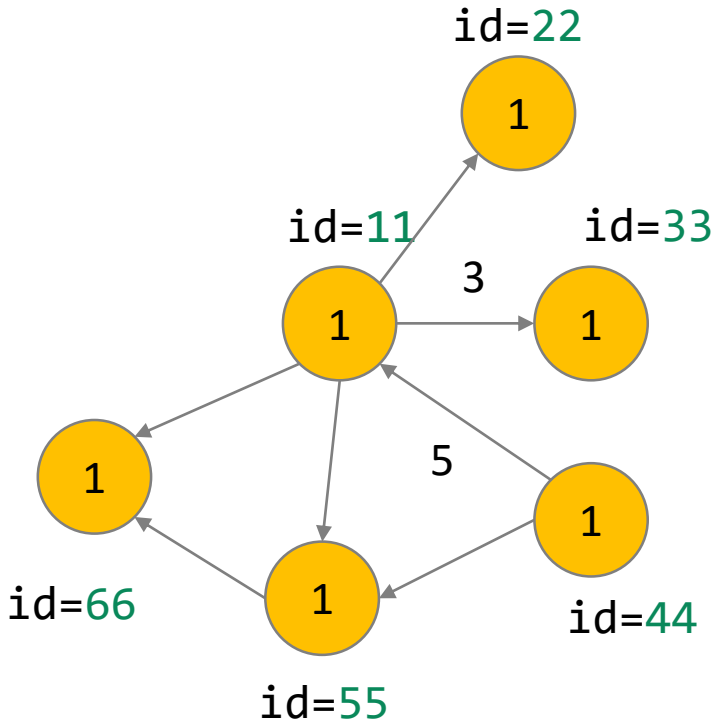

JSON

Словарь

- Vertex-cut
- Vertex Partition
- Edge Partition
- Triplet
- Операторы
- Pregel API
- Routing Table
- Bitmask

Модель данных и вычислений

Граф как коллекция данных



Вершины

id	value
11	1
22	1
33	1
44	1
55	1
66	1

Ребра

srcId	value	dstId
11	1	22
11	1	33
11	1	55
11	1	66
44	1	11
44	1	55
55	1	66

Стадия 1. Построение triplets

vertices

id	value
11	1
22	1
33	1
44	1
55	1
66	1

```
CREATE VIEW triplets AS
SELECT e.srcId, e.dstId, e.value, s.value, d.value
FROM edges AS e
JOIN vertices AS s JOIN vertices AS d
WHERE e.srcId=s.id AND e.dstId=d.id
```

edges

srcId	value	dstId
11	1	22
11	1	33
11	1	55
11	1	66
44	1	11
44	1	55
55	1	66

triplets

srcId	dstId	edgeValue	srcValue	dstValue
11	22	1	1	1
11	33	1	1	1
11	55	1	1	1
11	66	1	1	1
44	11	1	1	1
44	55	1	1	1
55	66	1	1	1

Стадия 2. Агрегирование

triplets

srcId	dstId	edgeValue	srcValue	dstValue
11	22	1	1	1
11	33	1	1	1
11	55	1	1	1
11	66	1	1	1
44	11	1	1	1
44	55	1	1	1
55	66	1	1	1

```
SELECT t.dst, reduceUDF(mapUDF)
FROM triplets AS t
GROUP BY t.dstId
```

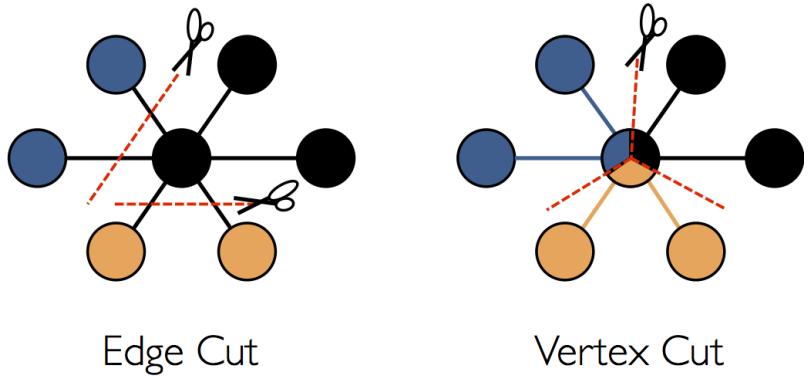
Пример для PageRank

```
mapF => t.srcValue*t.edgeValue
reduceF => 0.15 + 0.85*sum(map)

SELECT t.dst, 0.15+0.85*sum(t.srcValue*t.edgeValue)
FROM triplets AS t
GROUP BY t.dstId
```

Распределенный граф в GraphX

Особенности Vertex-cut

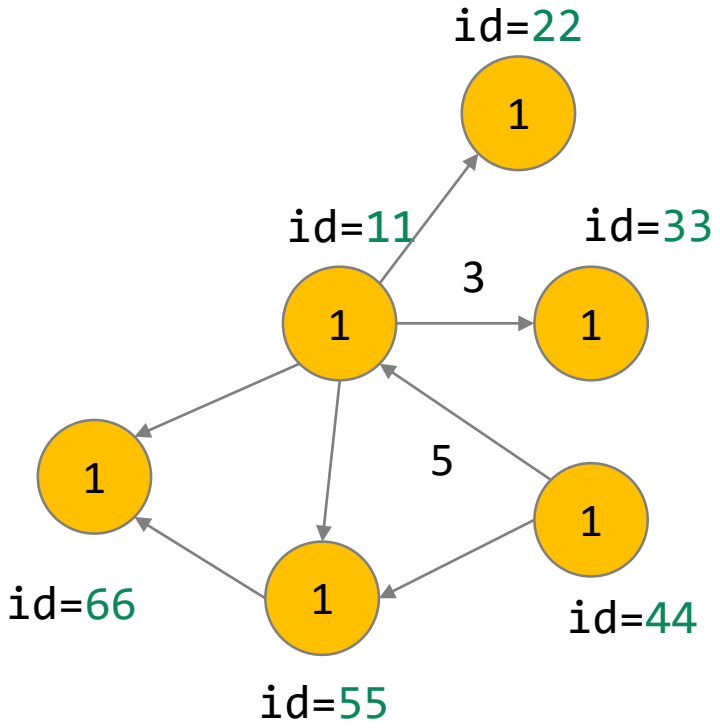
- В отличие от **edge-cut**, когда вершины равномерно распределяются по машинам, при **vertex-cut** равномерно распределяются ребра, таким образом вершины могут охватывать несколько машин



- Графы в реальном мире имеют больше ребер чем вершин, поэтому вершины доставляются в место хранения/обработки ребер

- Уменьшая количество машин, охватываемых каждой вершиной, уменьшается коммуникация и общий объем памяти для хранения

Распределенное представление графа в GraphX



edges

Partition A

srcId	value	dstId
11	1	22
11	1	33

Partition B

srcId	value	dstId
44	1	11
44	1	55

Partition C

srcId	value	dstId
11	1	55
11	1	66
55	1	66

vertices

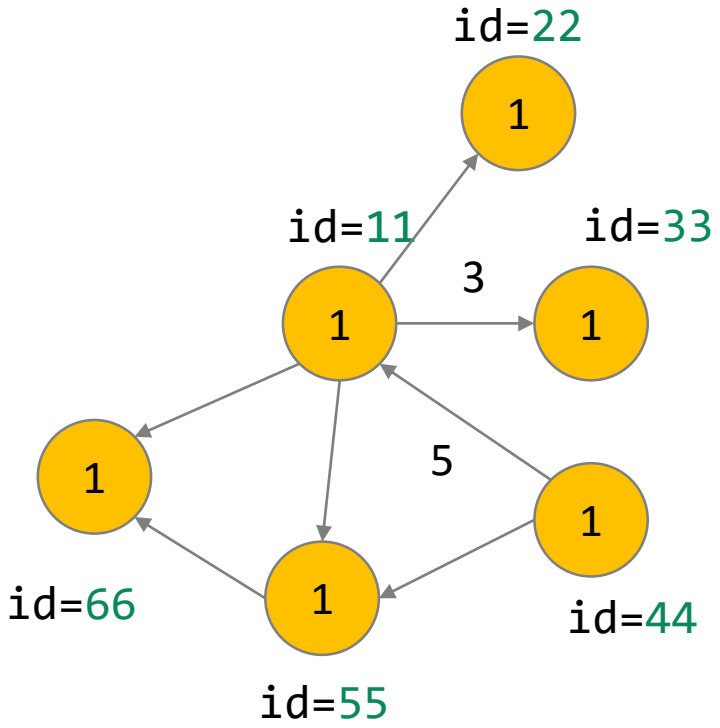
Partition I

id	value
11	1
22	1
33	1

Partition II

id	value
44	1
55	1
66	1

Routing Table



edges

Partition A

srcId	value	dstId
11	1	22
11	1	33

Partition B

srcId	value	dstId
44	1	11
44	1	55

Partition C

srcId	value	dstId
11	1	55
11	1	66
55	1	66

vertices

Partition I

id	value
11	1
22	1
33	1

Partition II

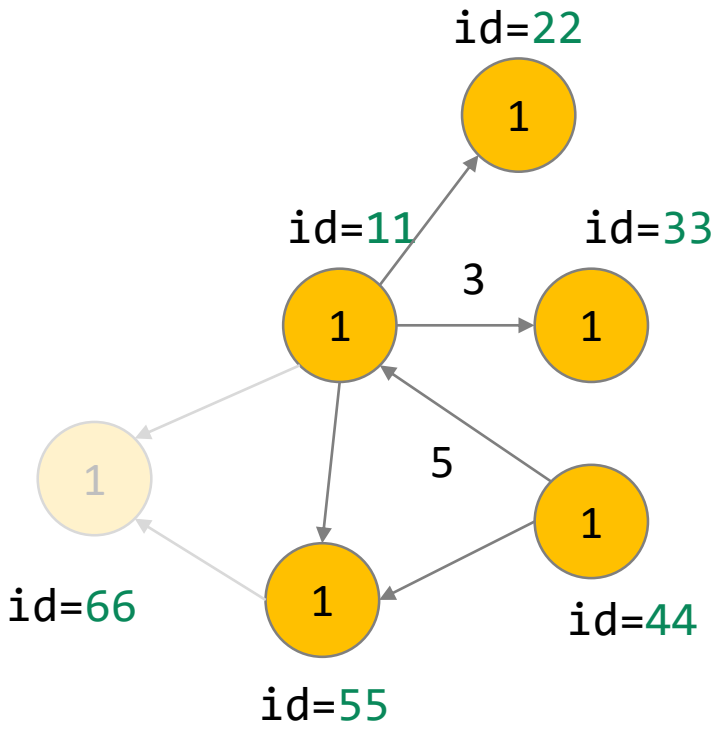
id	value
44	1
55	1
66	1

routing table

partId	vertices
A	11,22,33
B	11
C	11

partId	vertices
A	
B	44,55
C	55,66

Bitmask



edges

Partition A

srcId	value	dstId
11	1	22
11	1	33

Partition B

srcId	value	dstId
44	1	11
44	1	55

Partition C

srcId	value	dstId
11	1	55
11	1	66
55	1	66

vertices **vertex bitmask** **routing table**

Partition I

id	value
11	1
22	1
33	1

bitmask
1
1
1

partId	vertices
A	11,22,33
B	11
C	11

Partition II

id	value
44	1
55	1
66	1

bitmask
1
1
0

partId	vertices
A	
B	44,55
C	55,66

Особенности вершин в GraphX

- **Routing table** используется для копирования туда, где расположены части (partitions) **edges,** только необходимых вершин, которые соответствуют src/dst в данной части. Это необходимо для ускорения выполнении **join** операций при формирования **triplets**

- **Bitmask** используется для сокрытия/исключения вершин при выполнении операций

- Вершины хранятся на стороне **частей edges** и обновляются при изменении значений соответствующих вершин в **vertices**

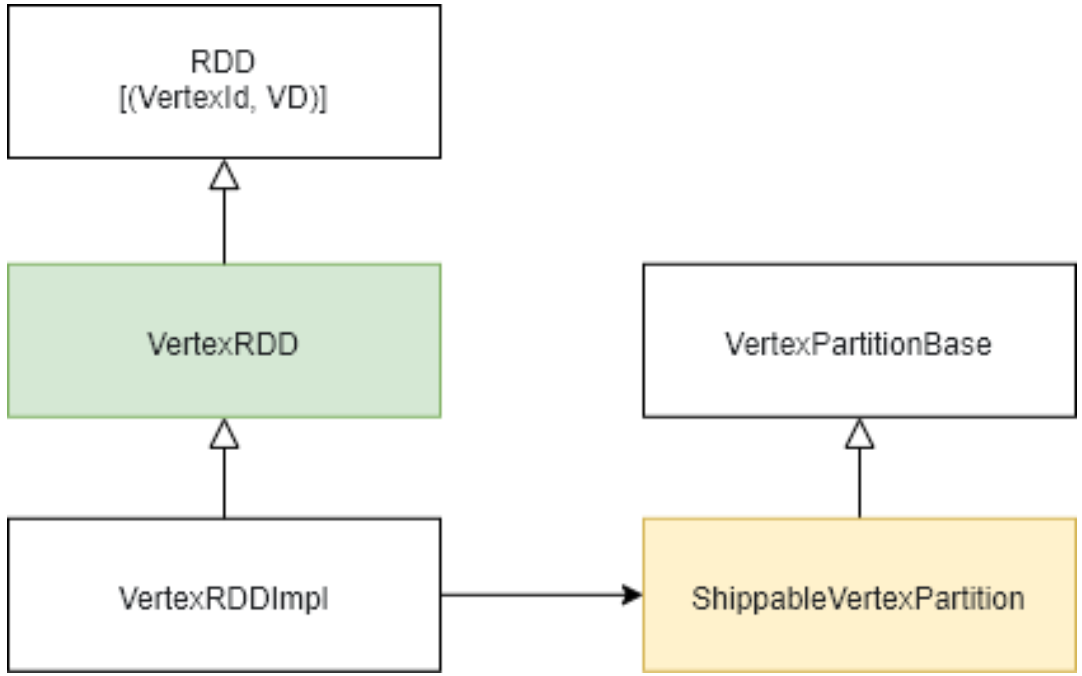
Класс **VertexRDD**

VertexRDD – абстрактный класс для представления вершин:

- Вершина представляется в виде VertexId (Long) и атрибута типа VD
- Набор вершин делится на части (partitions) по VertexId
- Расширяет/наследует RDD[(VertexId, VD)]

ShippableVertexPartition

- **index** : VertexIdToIndexMap – **индекс** для определения позиции вершины по её **id**
- **value** : Array[VD] – массив значений вершины (позиция вершины определяется по index)
- **mask** : BitSet – множество активных вершин
- **routingTable** : RoutingTablePartition



Класс **EdgeRDD**

EdgeRDD – абстрактный класс для представления ребер:

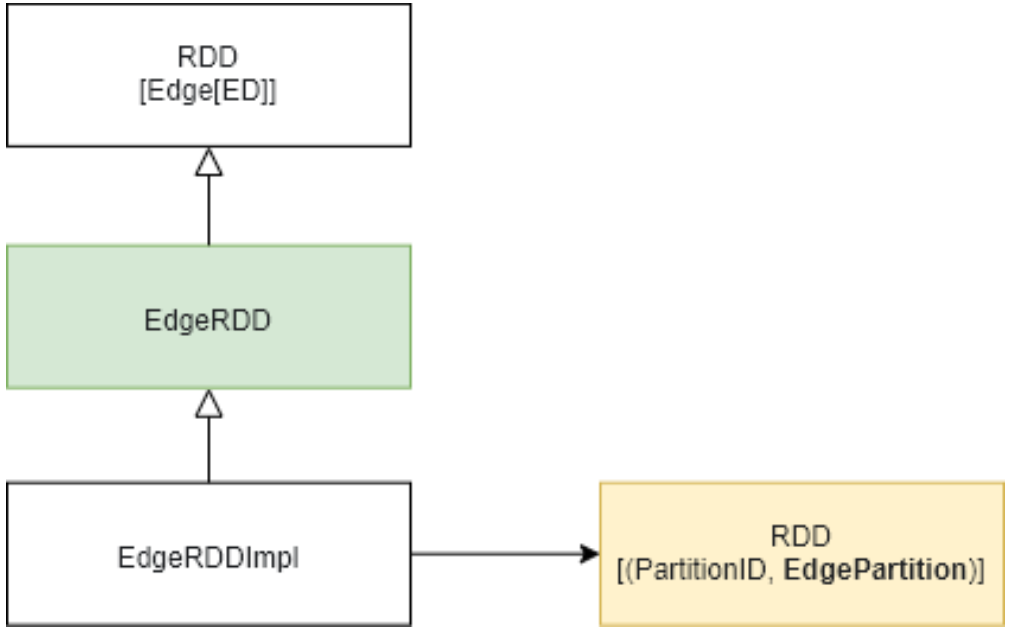
- Ребро представляется в виде экземпляра **Edge** класса
- Набор ребер делится на части (partitions) в соответствии с **PartitionStrategy**
- Расширяет/наследует **RDD[Edge[ED]]**

Edge:

- srcId : VertextID
- dstId : VertextID
- attr : ED

PartitionStrategy:

- CanonicalRandomVertexCut
- EdgePartition1D
- EdgePartition2D
- RandomVertexCut



Класс **EdgePartition**

EdgePartition:

- localSrcIds : Array[Int] – локальный id вершины источника
- localDstIds : Array[Int] – локальный id вершины назначения
- data : Array[ED] – значение ребра

- global2local : ~HashMap[VertexID, Int] – перевод глобального id вершины в локальный id
- local2global : Array[VertexID] – перевод локального id вершины в глобальный id

- vertexAttrs : Array[VD] – значения вершин
- activeSet : VertexSet – множество активных вершин

index

srcId	offset
11	0
77	2

Partition A

localSrcId	data	localDstId
0	1	1
0	1	2
3	1	1

local2global

localId	globalId
0	11
1	22
2	33
3	77

attributes

localId	value
0	1
1	1
2	1
3	1

global2local

globalId	localId
11	0
22	1
33	2
77	3

Класс **Graph**

Коллекции графа

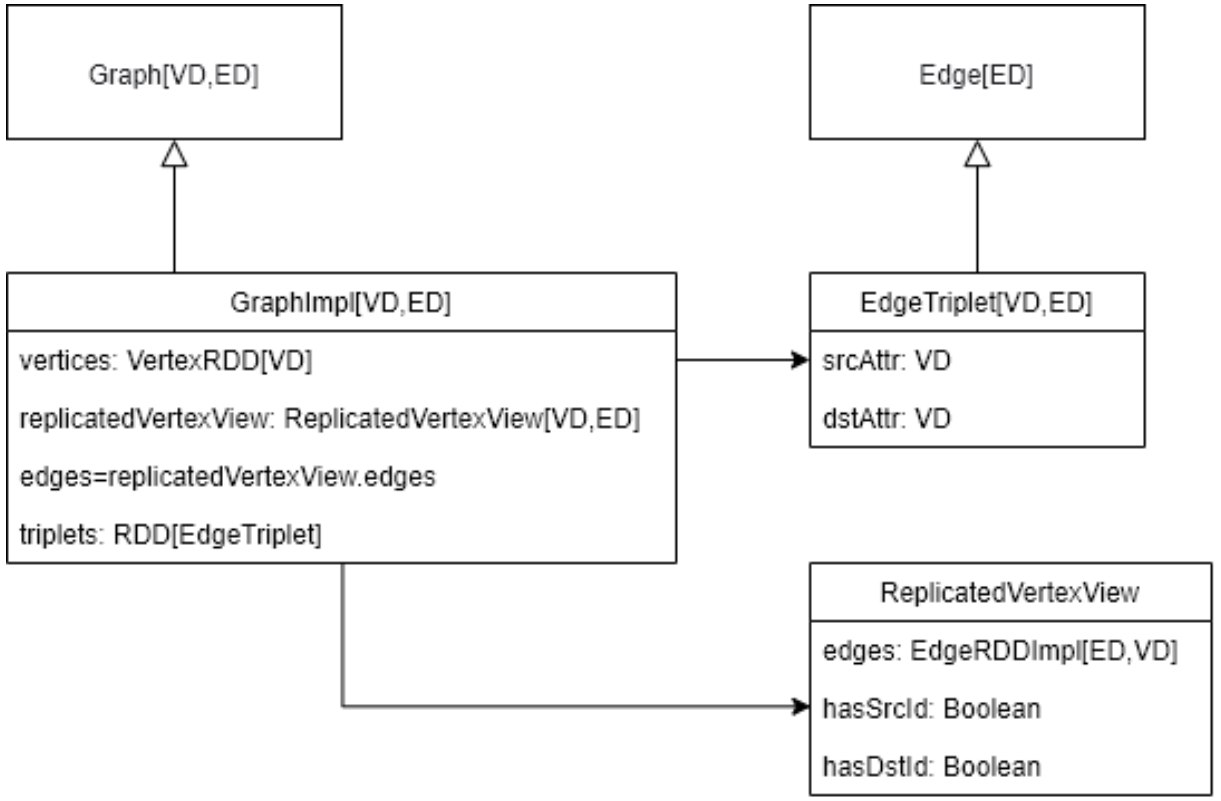
val vertices: VertexRDD[VD]
val edges: EdgeRDD[ED]
val triplets: RDD[EdgeTriplet[VD, ED]]

Информация о графе

val numEdges: Long
val numVertices: Long
val inDegrees: VertexRDD[Int]
val outDegrees: VertexRDD[Int]
val degrees: VertexRDD[Int]

Операторы свойств

def mapVertices[VD2]
def mapEdges[ED2]
def mapTriplets[ED2]



Структурные операторы

(изменяют структуру)

def reverse
def subgraph
def mask[VD2, ED2]
def groupEdges

Другие операторы

def joinVertices[U]
def aggregateMessages[Msg: ClassTag]
def pregel[A]

Операторы

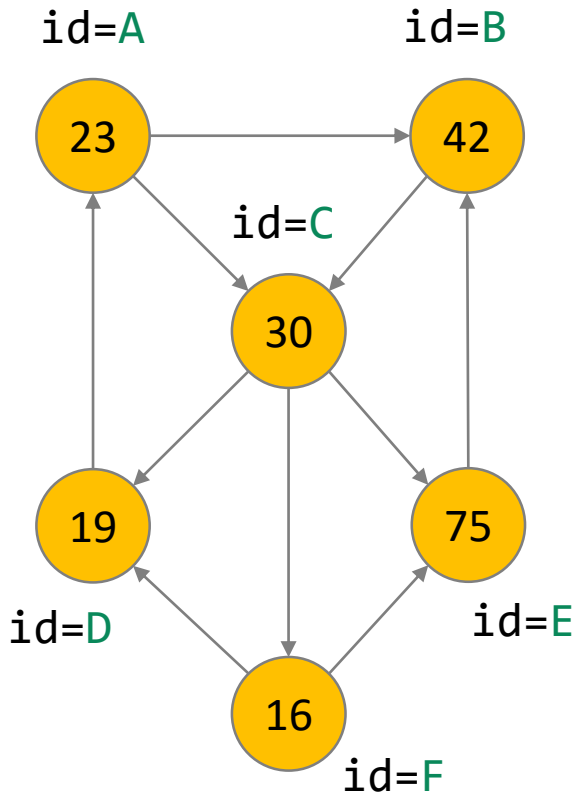
mapReduceTriplets | deprecated

Оператор **mapReduceTriplets** берет определенную пользователем функцию **map** и применяет её к каждому triplet'у и получает в результате агрегированные сообщения с использованием функции **reduce**

```
class Graph[VD, ED] {
    def mapReduceTriplets[Msg](
        map: EdgeTriplet[VD, ED] => Iterator[(VertexId, Msg)],
        reduce: (Msg, Msg) => Msg)
        : VertexRDD[Msg]
}
```

- Данный оператор устарел
- Используемый в **mapReduceTriplets** итератор ограничивает возможности по оптимизации
- Вместо него используется **aggregateMessages**

Пример mapReduceTriplets




```
SELECT t.dst, reduceUDF(mapUDF)
FROM triplets AS t
GROUP BY t.dstId
```

```
def mapUDF(t: EdgeTriplet[User, Double])
        : Iterator[(VertexId, Int)] =
        if (t.src.age > t.dst.age) (t.dstId, 1)
        else (t.dstId, 0)

def reduceUDF(a: Int, b: Int): Int = a + b

val seniors: VertexRDD[(VertexId, Int)] =
        graph.mapReduceTriplets(mapUDF, reduceUDF)
```

Результат

id	value
A	0
B	2
C	1
D	1
E	0
F	3

aggregateMessages

Оператор **aggregateMessages** применяет функцию **sendMsg** к каждому ребру triplet'а в графе и затем использует функцию **mergeMsg** для агрегирования сообщений на вершинах назначения.

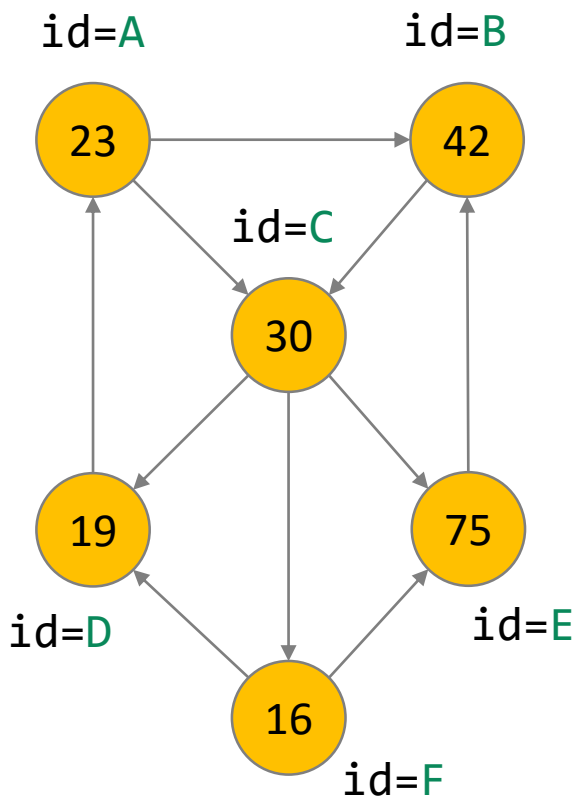
```
class Graph[VD, ED] {
    def aggregateMessages[Msg: ClassTag](
        sendMsg: EdgeContext[VD, ED, Msg] => Unit,
        mergeMsg: (Msg, Msg) => Msg,
        tripletFields: TripletFields = TripletFields.All)
        : VertexRDD[Msg]

    def aggregateMessagesWithActiveSet[Msg: ClassTag](
        sendMsg: EdgeContext[VD, ED, A] => Unit,
        mergeMsg: (Msg, Msg) => Msg,
        tripletFields: TripletFields,
        activeSetOpt: Option[(VertexRDD[_], EdgeDirection)])
        : VertexRDD[Msg]
}
```

- None (без значений)
- EdgeOnly (значение ребер)
- Src (значение исходящих вершин)
- Dst (значение входящих вершин)
- All (все значения)

Два вариант доступа к значениям в **edge** частях:

- Полный перебор по ребрам (**edge scan**)
- Использование индекса (**index scan**) (если доля активных вершин < 0.8)

Пример aggregateMessages




```
SELECT t.dst, reduceUDF(mapUDF)
FROM triplets AS t
GROUP BY t.dstId
```

```
val seniors: VertexRDD[(VertexId, Double)] =
    graph.aggregateMessages[(VertexId, Double)](

    t => { // Map Function
        if (t.srcAttr > t.dstAttr) {
        // Send message to destination vertex
            t.sendToDst((1, t.srcAttr))
        }
    },

    // Add counter and age
    (a, b) => (a._1 + b._1, a._2 + b._2) // Reduce Function
)
```

Результат

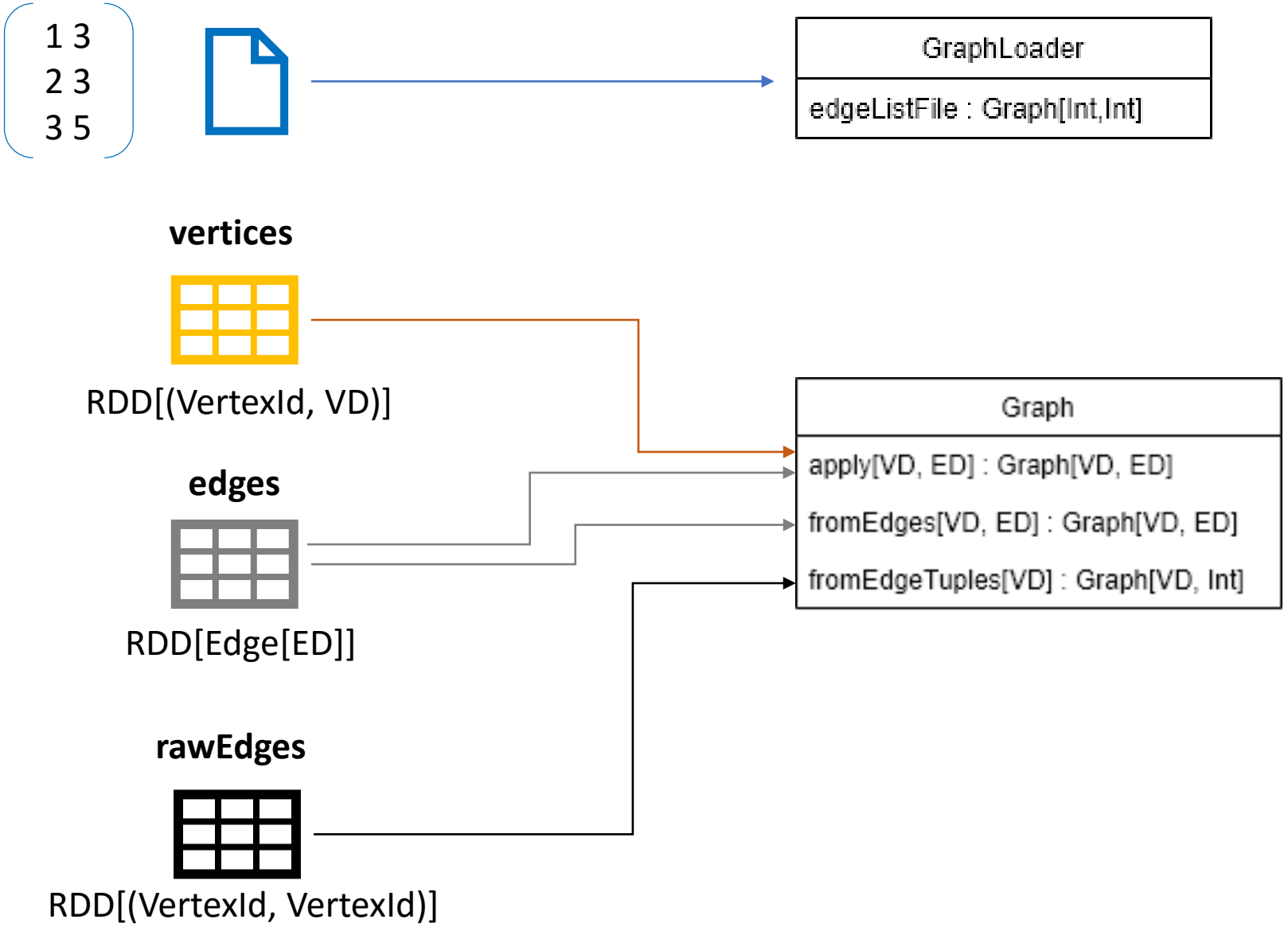
id	value
A	0
B	2
C	1
D	1
E	0
F	3

Pregel API

ПСЕВДОКОД

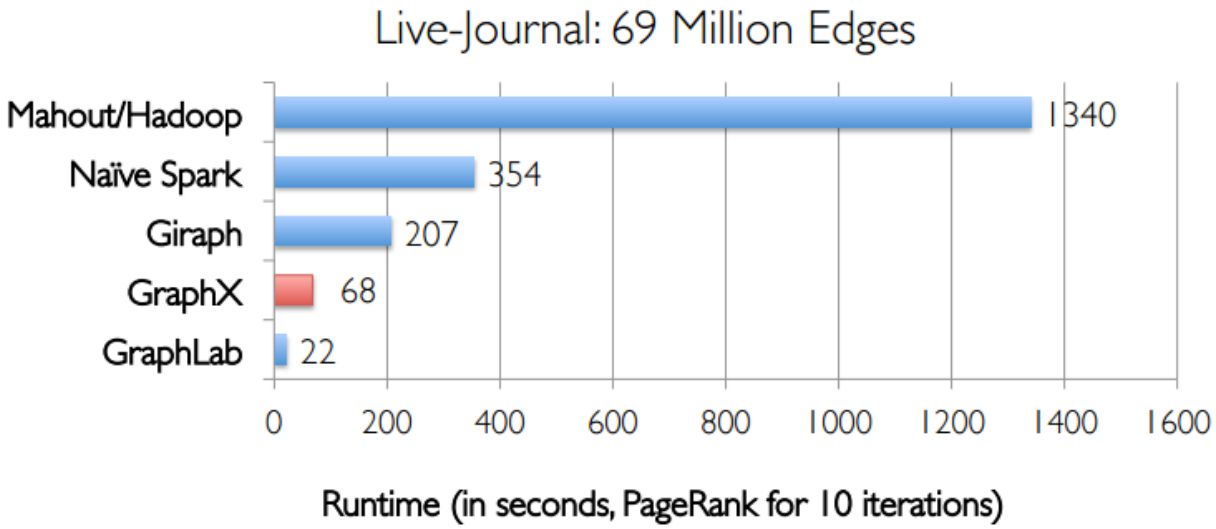
```
def pregel(g: Graph[V,E],
    vprog: (VertexId, VD, A) => VD,
    sendMsg: EdgeTriplet[VD, ED] => Iterator[(VertexId, A)],
    mergeMsg: (A, A) => A) : Graph[VD, ED] {
        // Установить все вершины как активные
        g = g.mapVertices({id, v} => (v, halt=false))
        // Повторить пока есть активные вершины
        while (g.vertices.exists(v => !v.halt)) {
            // Вычислить сообщения
            val msgs = g.subgraph((s,d,sP,eP,dP)=>!sP.halt)
                        .mapReduceTriplets(sendMsg, mergeMsg)
            // Получить сообщения и выполнить vprog
            g = g.leftJoinVertices(msgs).mapVertices(vprog)
        }
        return g
}
```

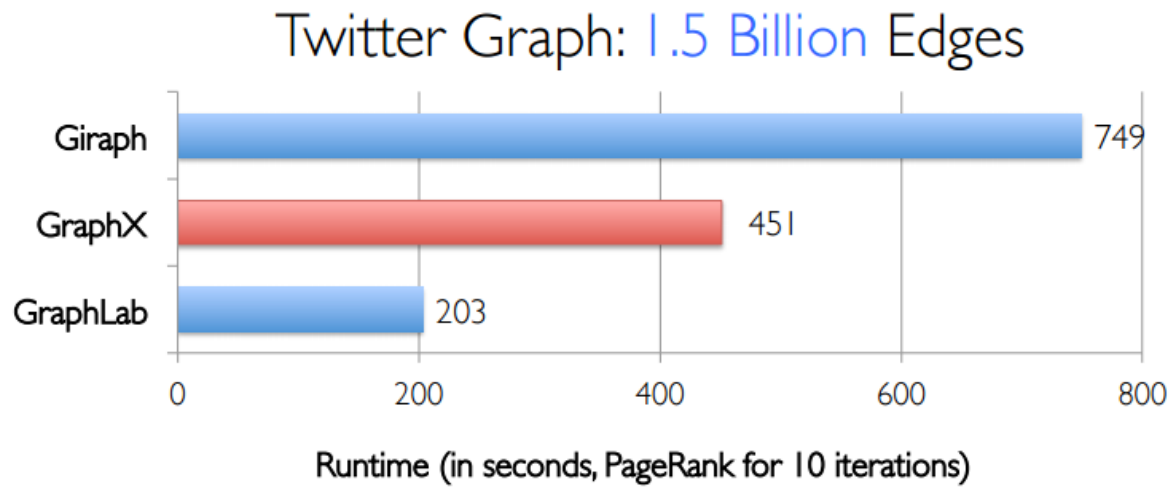
Создание исходного графа



Сравнение

Сравнение GraphX с другими системами





Источники

GraphX (github)

GraphX Programming Guide (official website)

GraphX: Graph Processing in a Distributed Dataflow Framework (article)