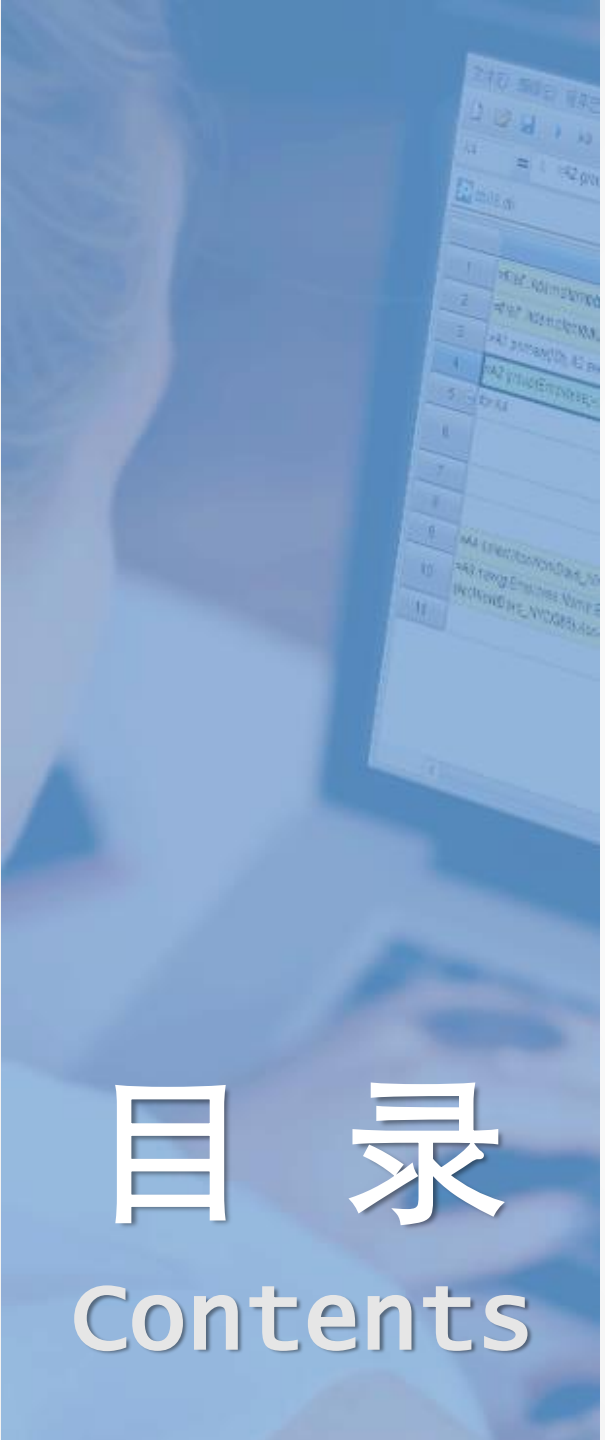
集算器

创新大数据计算引擎

性能优化-连接运算

润乾软件出品



目 录

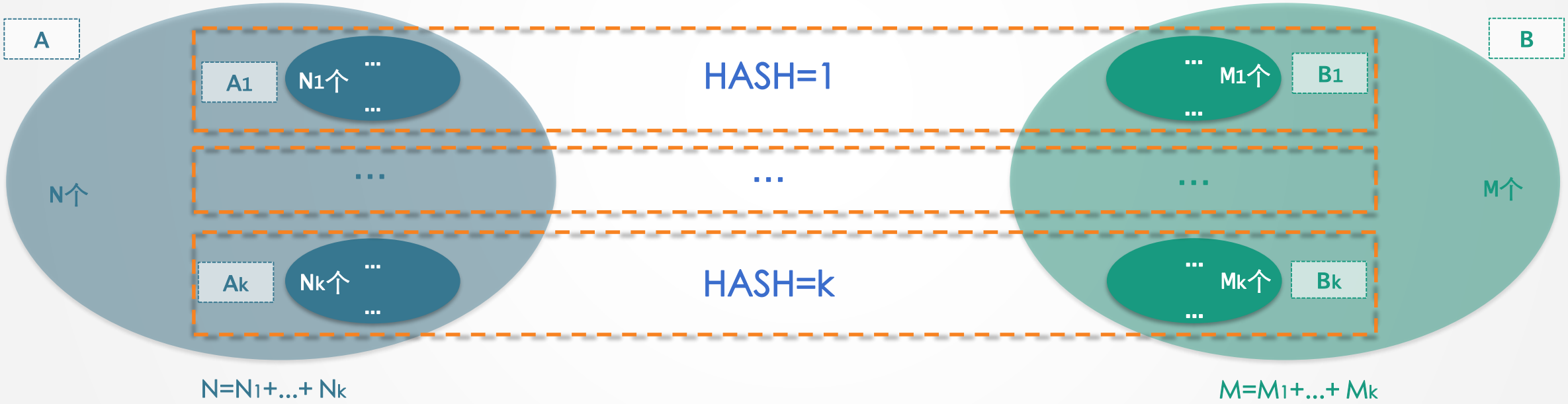
Contents

连接运算及传统计算方法

SQL对JOIN的定义非常简单，就是两个集合（表）做笛卡尔积后再按某种条件过滤！

关系数据库一般采用HASH方法实现连接，即分别计算关联字段的HASH值，将HASH同值记录拼到一起再做小范围遍历比较！

全内存HASH JOIN原理：

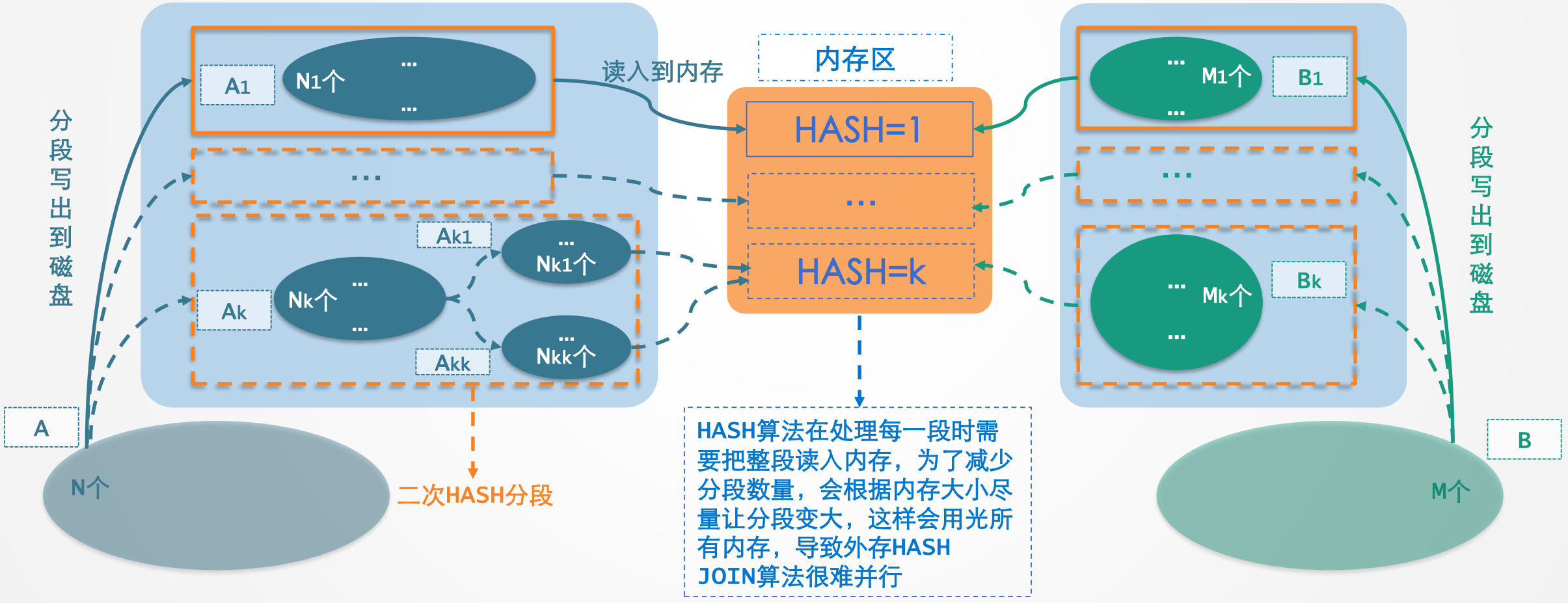


常规比较次数：N*M=（N1+...+ Nk）*（M1+...+ Mk）；HASH后比较次数：N1*M1+N2*M2 +...+Nk*Mk
显然，前者次数一般远大于后者！（k是HASH取值范围）

连接运算及传统计算方法

当要 JOIN 的两个表大到内存无法放下时，关系数据库仍采用 HASH 分段技术。根据关联字段的 HASH 值，将数据分成若干堆，每堆都足够小到能装入内存再用内存 HASH 算法。

外存HASH JOIN原理：



连接运算剖析

等值JOIN的常见类型

现实中绝大多数JOIN都是等值JOIN，上面三种JOIN已经涵盖了绝大多数等值JOIN的情况
充分利用了这些特征，可获得更简单的书写形式和更高效的运算性能

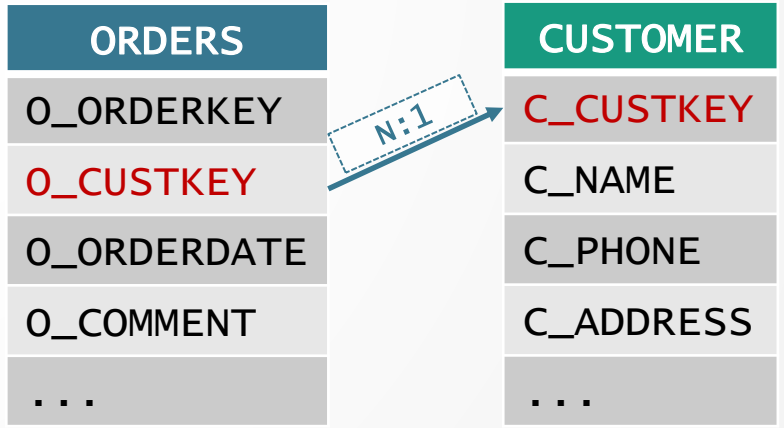
连接运算剖析 – 外键表

① 表 A 的某些字段与表 B 的主键关联，A 表称为事实表，B 表称为维表

② A 表中与 B 表主键关联的字段称为A指向B的外键，B 也称为 A 的外键表

③ 外键表是多对一的关系，主要是JOIN和LEFT JOIN,一般不会用到 FULL JOIN

④ 典型例子：订单表和客户信息表

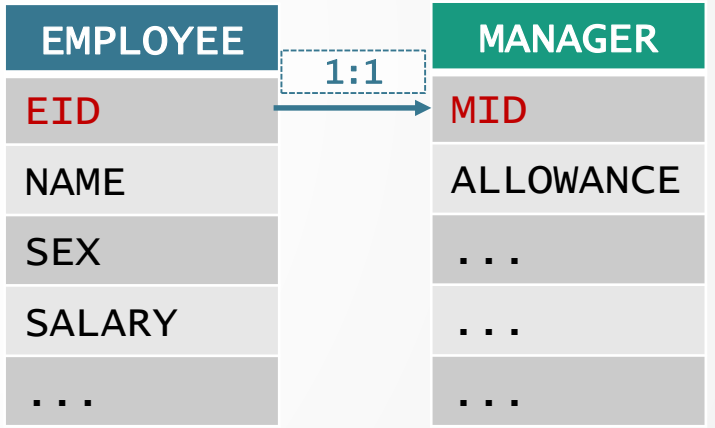


连接运算剖析 – 同维表

① 表 A 的主键与表 B 的主键关联，A 和 B 互称为同维表

② 同维表是一对一的关系，JOIN、LEFT JOIN 和 FULL JOIN 的情况都会有

③ 典型例子：员工表和经理表

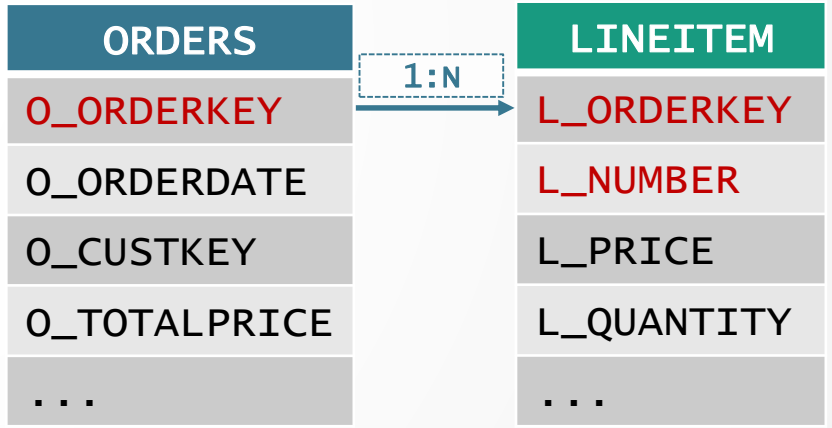


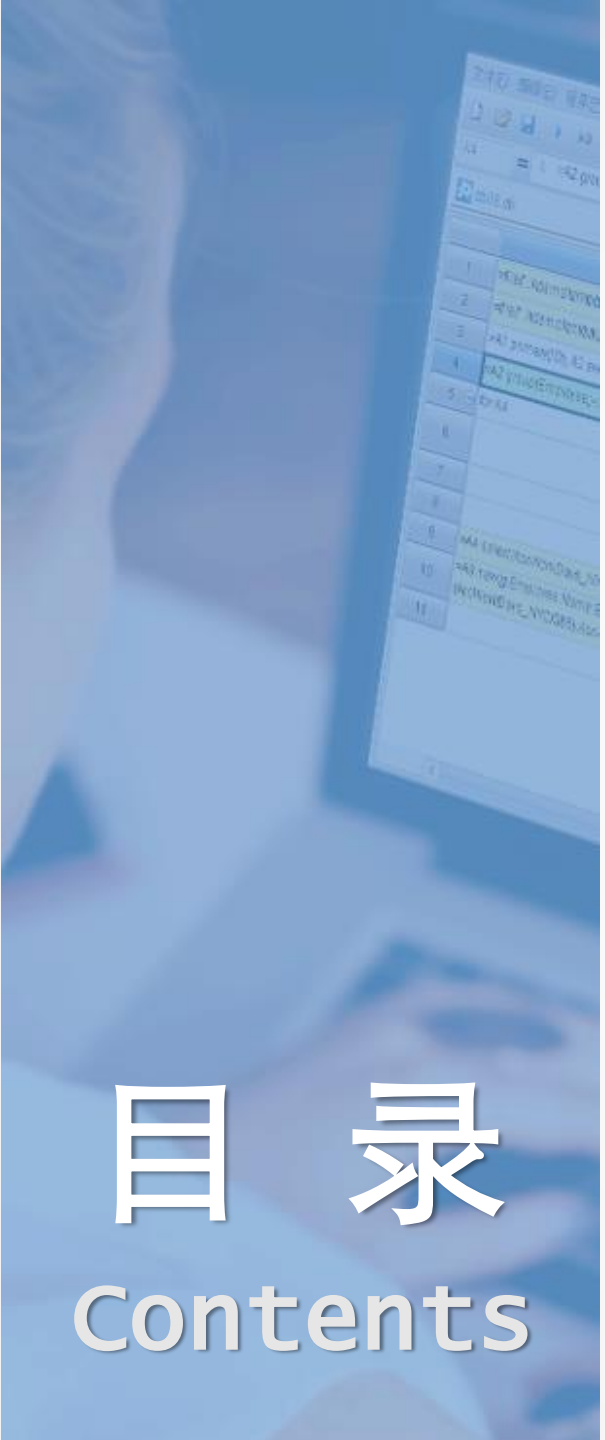
连接运算剖析 – 主子表

① 表 A 的主键与表 B 的部分主键关联，A 称为主表，B 称为子表

② 主子表是一对多的关系，只有 JOIN 和 LEFT JOIN，不会有 FULL JOIN

③ 典型例子：订单表和订单明细表





目 录

Contents

全内存外键预关联 – 外键属性化

数据都能够装入内存时可实现外键属性化。将订单表中的外键客户ID转换成指向客户表记录的属性，即客户ID的取值就已经是某个客户表中的记录，就可以直接引用记录的字段进行计算。

外键N:1

ORDERS

Index	O_ORDERKEY	O_CUSTKEY	O_ORDERDATE	O_TOTALPRICE
1	10262	RATTC	1996-07-22	14487.0
2	10263	ERNSH	1996-07-23	43818.0
3	10264	FOLKO	2007-12-18	1101.0
4	10265	BLONP	1996-07-25	5528.0
5	10266	WARTH	1996-07-26	7719.0
6	10267	FRANK	1996-07-29	20858.0
7	10268	GROSR	1996-07-30	19887.0
8	10269	WHITC	1996-07-31	456.0

CUSTOME

Index	C_CUSTKEY	C_NAME	C_CITY
1	BLONP	The hao	Dalian
2	CACTU	Wayair freight co. LTD	Dalian
3	CENTC	Three jie industrial	Dalian
4	HUNGC	Hardware mechanical	Dalian
5	MEREP	huake	Dalian
6	ALFKI	Sanchuan industrial ...	Tianjin

订单表与客户表建立连接前后的变化

ORDERS

Index	O_ORDERKEY	O_CUSTKEY	O_ORDERDATE	O_TOTALPRICE
1	10262	[RATTC,Learn the ...	1996-07-22	14487.0
2	10263	[ERNSH,Resources ...	1996-07-23	43818.0
3	10264	[FOLKO,Wuzhou tr...	2007-12-18	1101.0
4	10265	[BLONP,The hao,D...	1996-07-25	5528.0
5	10266	[WARTH,Upgrade t...	1996-07-26	7719.0
6	10267	[FRANK,Trust frien...	1996-07-29	20858.0
7	10268	[GROSR,Light far tr...	1996-07-30	19887.0
8	10269	[WHITC,Chair day ...	1996-07-31	456.0

C_CUSTKEY	C_NAME	C_CITY
ERNSH	Resources are people	Shenzhen

C_CUSTKEY	C_NAME	C_CITY
WARTH	Upgrade the enterprise	Shijiazhuang

示例代码

	A	B
1	=ORDERS.switch(O_CUSTKEY,CUSTOMER:C_CUSTKEY)	/建立外键预关联，把客户ID转换成属性
2	=A1.new(O_CUSTKEY.C_NAME:C_NAME,O_CUSTKEY,O_ORDERDATE,O_TOTALPRICE)	/查询客户的订单详情
3	=A1.groups(O_CUSTKEY.C_CITY:C_CITY;sum(O_TOTALPRICE):O_TOTALPRICE)	/按照客户区域名称汇总订单的销售额

预关联建立后可复用，即第1 步只要做一次，以后再做这两个字段的关联时就不必再计算 HASH 值和比对了，可大幅提高性能。而SQL的 JOIN 运算不假定外键指向记录的唯一性，不能使用外键属性化方法，每次关联时都要计算 HASH 值并比对！

全内存外键预关联 – 多外键一次解析

HASH JOIN算法每次只能解析掉一个关联，有 N 个 JOIN 要执行 N 遍动作，每次关联后需要保持中间结果供下一轮使用，计算过程复杂得多，数据也会被遍历多次。

外键属性化的办法解析JOIN，对事实表遍历一次即可完成所有外键的预关联！

ORDERS

Index	O_ORDERKEY	O_CUSTKEY	O_EMPID	O_ORDERD...	O_TOTALPRI...
1	10262	RATTC	8	1996-07-22	14487.0
2	10263	ERNSH	9	1996-07-23	43818.0
3	10264	FOLKO	6	2007-12-18	1101.0
4	10265	BLONP	2	1996-07-25	5528.0
5	10266	WARTH	3	1996-07-26	7719.0
6	10267	FRANK	4	1996-07-29	20858.0
7	10268	GROSR	8	1996-07-30	19887.0
8	10269	WHITC	5	1996-07-31	456.0

外键N:1

CUSTOMER

Index	C_CUSTKEY	C_NAME	C_REGION
1	BLONP	The hao	North East
2	CACTU	Wayair freight co. LTD	North East
3	CENTC	Three jie industrial	North East
4	HUNGC	Hardware mechanical	North East
5	MEREP	huake	North East
6	ALFKI	Sanchuan industrial co...	North China

外键N:1

EMPLOYEE

Index	E_ID	E_NAME	E_POSITION
1	1	ZhangYinjing	sales
2	2	WangWei	Vice President
3	3	LiFang	sales
4	4	ZhenJianjie	sales
5	5	ZhaoJun	manager
6	6	SunLin	sales

订单表与客户表、雇员表建立连接前后的变化

ORDERS

Index	O_ORDERKEY	O_CUSTKEY	O_EMPID	O_ORDERDATE	O_TOTALPRICE
1	10262	[RATTC,Lear...	[8,LiuYinjiu,co...	1996-07-22	14487.0
2	10263	[ERNSH,Reso...	[9,ZhangXue...	1996-07-23	43818.0
3	10264	[FOLKO,Wuzh...	[6,SunLin,sales]	2007-12-18	1101.0
4	10265	[BLONP,The ...	[2,WangWei,Vi...	1996-07-25	5528.0
5	10266	[WARTH,Upg...	[3,LiFang,sales]	1996-07-26	7719.0
6	10267	[FRANK,Trust...	[4,ZhenJianjie...	1996-07-29	20858.0
7	10268	[GROSR,Light...	[8,LiuYinjiu,co...	1996-07-30	19887.0
8	10269	[WHITC,Chair...	[5,ZhaoJun,m...	1996-07-31	456.0

C_CUSTKEY	C_NAME	C_REGION
ERNSH	Resources are people	South China

C_CUSTKEY	C_NAME	C_REGION
BLONP	The hao	North East

E_ID	E_NAME	E_POSITION
2	WangWei	Vice President

E_ID	E_NAME	E_POSITION
8	LiuYinjiu	coordinator

示例代码

	A	B
1	=ORDERS.switch(O_CUSTKEY,CUSTOMER:C_CUSTKEY;O_EMPID,EMPLOYEE:E_ID)	/建立关联，把客户ID、雇员ID转换成属性
2	=A1.groups(O_CUSTKEY.C_REGION:C_REGION,O_EMPID.E_NAME:E_NAME;sum(O_TOTALPRICE):AMOUNT)	/按客户所在区域和销售人员汇总销售额

全内存外键预关联 – 复制外键属性

外键属性化简单高效，但解决不了LEFT JOIN的情况，当与维表记录匹配不上时，会导致事实表外键丢失。

外键N:1

ORDERS

Index	O_ORDERKEY	O_CUSTKEY	O_ORDERDATE	O_TOTALPRICE
1	10262	RATTC	1996-07-22	14487.0
2	10263	ERNSH	1996-07-23	43818.0
3	10264	FOLKO	2007-12-18	1101.0
4	10265	BLONP	1996-07-25	5528.0
5	10266	WARTH	1996-07-26	7719.0
6	10267	FRANK	1996-07-29	20858.0
7	10268	GROSR	1996-07-30	19887.0
8	10269	WHITC	1996-07-31	456.0

CUSTOMER

Index	C_CUSTKEY	C_NAME	C_REGION
1	CACTU	Wayair freight co. LTD	North East
2	CENTC	Three jie industrial	North East
3	HUNGC	Hardware mechanical	North East
4	MEREP	huake	North East
5	ALFKI	Sanchuan industrial co. L...	North China
6	ANATR	The southeast industrial	North China

ORDERS

Index	O_ORDERKEY	O_CUSTKEY	O_ORDERDATE	O_TOTALPRICE
1	10262	[RATTC,Learn the ker...	1996-07-22	14487.0
2	10263	(null)	1996-07-23	43818.0
3	10264	[FOLKO,Wuzhou trust,...	2007-12-18	1101.0
4	10265	(null)	1996-07-25	5528.0
5	10266	[WARTH,Upgrade the ...	1996-07-26	7719.0
6	10267	[FRANK,Trust friend Jo...	1996-07-29	20858.0
7	10268	[GROSR,Light far trade...	1996-07-30	19887.0
8	10269	[WHITC,Chair day cult...	1996-07-31	456.0

ORDERS

Index	O_ORDERKEY	O_CUSTKEY	O_ORDERDATE	O_TOTALPRICE	CUSTOMER_fk
1	10262	RATTC	1996-07-22	14487.0	RATTC
2	10263	ERNSH	1996-07-23	43818.0	(null)
3	10264	FOLKO	2007-12-18	1101.0	FOLKO
4	10265	BLONP	1996-07-25	5528.0	(null)
5	10266	WARTH	1996-07-26	7719.0	WARTH
6	10267	FRANK	1996-07-29	20858.0	FRANK
7	10268	GROSR	1996-07-30	19887.0	GROSR
8	10269	WHITC	1996-07-31	456.0	WHITC

匹配不上的记录为 null

C_CUSTKEY	C_NAME	C_REGION
RATTC	Learn the kernel trade	East China

C_CUSTKEY	C_NAME	C_REGION
FOLKO	Wuzhou trust	East China

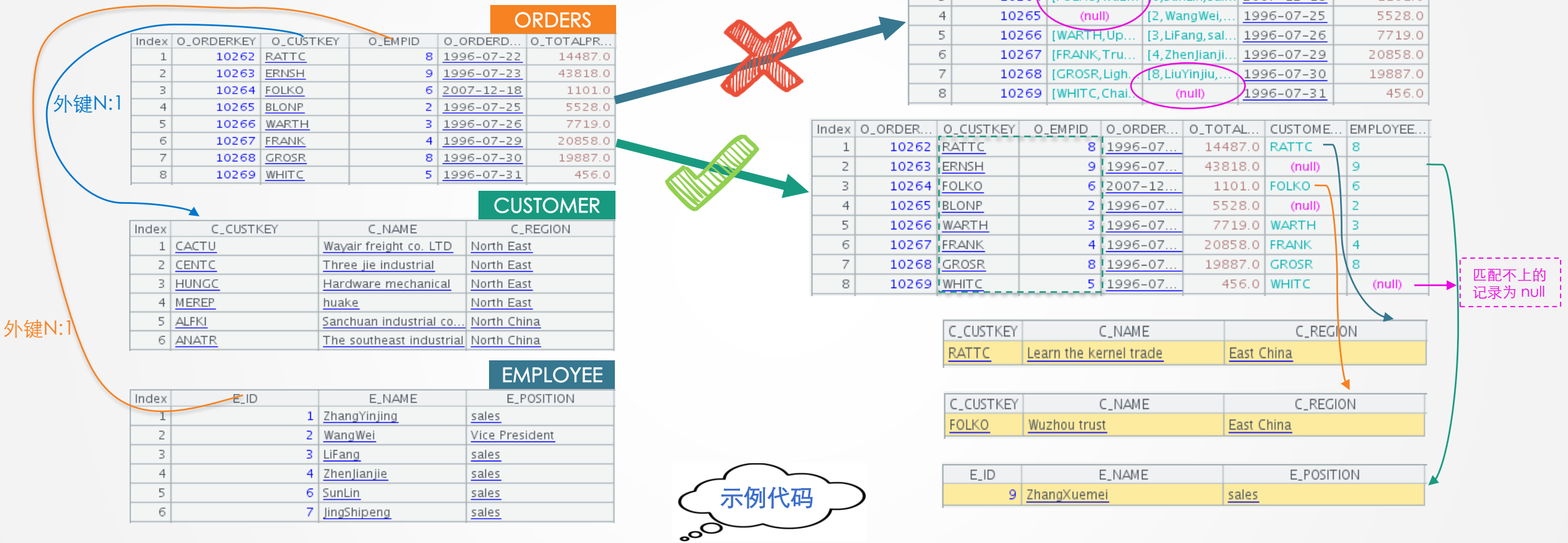
不把外键转换成属性，还要解决LEFT JOIN的情况，如何做到预关联呢?

示例代码

	A	B
1	=CUSTOMER.keys(C_CUSTKEY)	/设置主键为客户ID
2	=ORDERS.join(O_CUSTKEY,A1,~:CUSTOMER_fk)	/建立预关联
3	=A2.select(CUSTOMER_fk.C_REGION=="North China").sum(O_TOTALPRICE)	/汇总地区等于北的订单金额

全内存外键预关联 – 多个复制外键

在前面算法的基础上，多字段外键的例子，用法如下：



	A	B
1	=CUSTOMER.keys(C_CUSTKEY),EMPLOYEE.keys(E_ID)	/设置主键客户ID、雇员ID
2	=ORDERS.join(O_CUSTKEY,CUSTOMER,~:CUSTOMER_fk;O_EMPID,EMPLOYEE,~:EMPLOYEE_fk)	/建立预关联
3	=A2.select(CUSTOMER_fk.C_REGION==“North China“ && EMPLOYEE_fk.E_POSITION==“sales“).sum(O_TOTALPRICE)	/汇总华北地区销售代表的订单金额

部分内存化外键 – 临时指向手段

事实表大到无法放入内存，而维表较小(可以全部放入内存)，可以采用临时指向的方法来处理外键，即：边读入数据边进行外键属性化的转换。

ORDERS

Index	O_ORDERKEY	O_CUSTKEY	O_ORDERDATE	O_TOTALPRICE
1	10262	RATTC	1996-07-22	14487.0
2	10263	ERNSH	1996-07-23	43818.0
3	10264	FOLKO	2007-12-18	1101.0
4	10265	BLONP	1996-07-25	5528.0
5	10266	WARTH	1996-07-26	7719.0
6	10267	FRANK	1996-07-29	20858.0
7	10268	GROSR	1996-07-30	19887.0
8	10269	WHITC	1996-07-31	456.0
9	10270	WARTH	1996-08-01	13654.0
10	10271	SPLIR	1996-08-01	908.0
11	10272	RATTC	1996-08-02	19606.0
12	10273	QUICK	1996-08-05	22821.0
13	10274	VINET	1996-08-06	601.0
14	10275	MAGAA	1996-08-07	2693.0
15	10276	TORTU	1996-08-08	4152.0
16	10277	MORGK	1996-08-09	37731.0
17	10278	BERGS	1996-08-12	18538.0
18	10279	LEHMS	1996-08-13	5166.0
19	10280	BERGS	2007-12-25	898.0
20	10281	ROMEY	1996-08-14	294.0

1 逐步读入数据并进行属性化转换

2

3

CUSTOMER

Index	C_CUSTKEY	C_NAME	C_CITY
1	BLONP	The hao	Dalian
2	CACTU	Wayair freight co. LTD	Dalian
3	CENTC	Three jie industrial	Dalian
4	HUNGC	Hardware mechanical	Dalian
5	MEREP	huake	Dalian
6	ALFKI	Sanchuan industrial co. LTD	Tianjin

建立索引便于查找

内存区

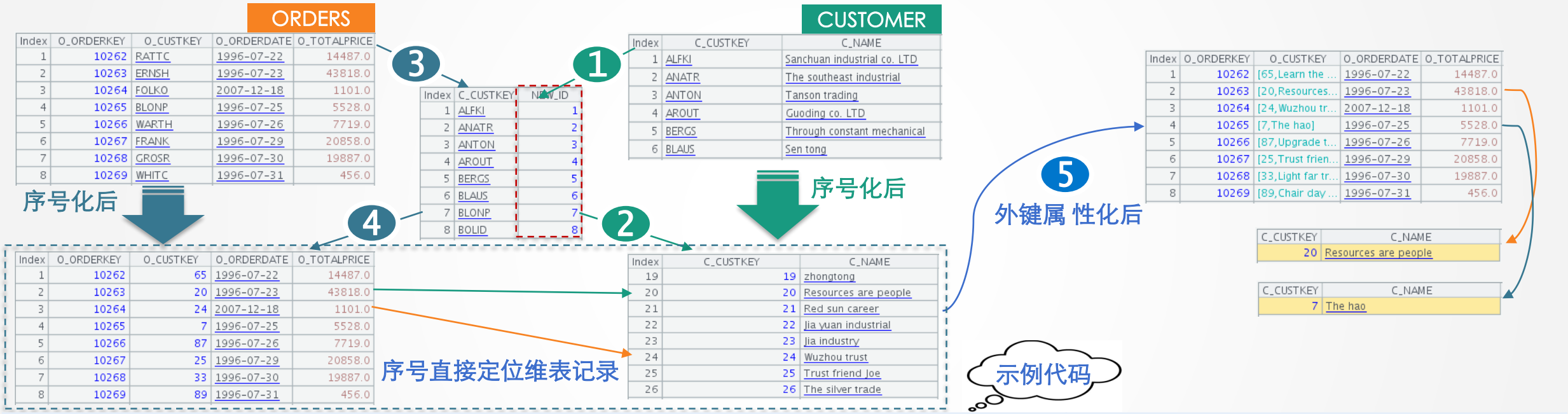
示例代码

	A	B
1	=file("ORDERS.btx").cursor@b()	/建立订单表记录游标，逐步读入数据
2	=A1.switch(O_CUSTKEY,CUSTOMER:C_CUSTKEY)	/在流入数据时将订单表中的客户ID字段根据客户表的主键转换成客户表的记录
3	=A1.groups(O_CUSTKEY.C_CITY:CITY;sum(O_TOTALPRICE):AMOUNT)	/按照客户所在城市汇总订单的销售额

每次做关联时还要再计算 HASH 和比对，但维表索引建立后可复用，且同样具有一次解析全部外键以及易于并行的特点，实际场景下比 HASH 算法仍有较大优势

部分内存化外键 – 序号化

前面算法上的变种。即：如果我们能把维表的主键都转换成从 1 开始的自然数，然后可以用序号直接定位维表记录，不需要计算和比对 HASH 值。



	A	B
1	=file("ORDERS.btx").cursor@b()	/建立订单表记录游标，逐步读入数据
2	=A1.switch(O_CUSTKEY,CUSTOMER:#)	/利用序号建立外键关联
3	=A1.groups(O_CUSTKEY.C_NAME:C_NAME;sum(O_TOTALPRICE):AMOUNT)	/分组汇总

外键序号化本质上相当于在外存实现属性化，它也具有像在内存一样的复用机制；SQL使用了无序集合的概念，即使事先把外键序号化了，数据库也难以利用这个特点，仍然会去计算 HASH 值和比对

部分内存化外键 – 排号键

排号是由字节构成的整数用于表示键值，它定位速度快，常用于优化内存索引和外键关联

身份证号	姓名
310105197306098l6	戴丽
…	…

转为排号键

身份证号	姓名
22340724006967913O2	戴丽
…	…

- 另一种处理不连续序号的方法，避免hash计算和冲突
- 直接序号需要至少10^17个long型的空间，会导致内存不够
- 排号键可以将数据分层序号化，很多子节点为空，减少内存占用

将17位身份证号分8层：31 | 01 | 05 | 1973 | 06 | 09 | 81 | 6

第1-2位：1-99	1	…	10	11	…	15	16	…	31	…	90	…	99	…
第3-4位：1-99	1	…	10	11	…	15	16	…	21	…	90	…	99	…
第5-6位：1-99	1	…	5	…	…	15	16	…	21	…	90	…	99	…

第7-10位：表示生日年份，这里以1970年作为基准，从1开始：

1	…	3	…	…	15	16	…	21	…	90	…	99	…

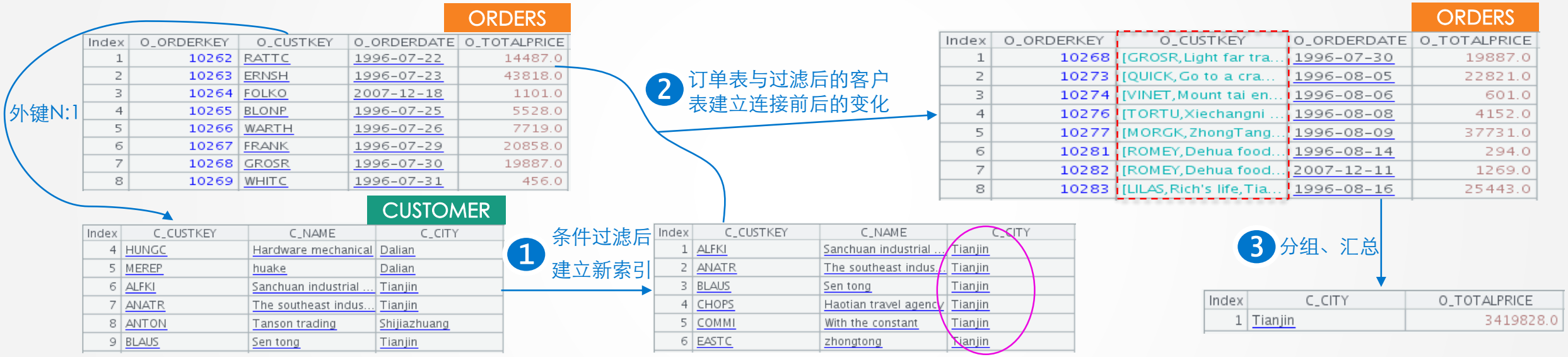
剩余7位的分层，依次类推…

示例代码

	A
1	=file("TAX_RETURN.btx").cursor@b()
2	=file("ID_CARDS.btx").import@b().keys@i(cardNo)
3	=A1.switch(cardNo,A2:cardNo)

维表过滤– 利用已建索引

维表装入内存并建好索引，有时需要针对过滤后的维表做关联，这样需要重建维表索引，维表较大时建也很耗时，可利用维表已有索引建立过滤后维表的索引，不用重新计算哈希值。



Index	O_ORDERKEY	O_CUSTKEY	O_ORDERDATE	O_TOTALPRICE
1	10262	RATTC	1996-07-22	14487.0
2	10263	ERNSH	1996-07-23	43818.0
3	10264	FOLKO	2007-12-18	1101.0
4	10265	BLONP	1996-07-25	5528.0
5	10266	WARTH	1996-07-26	7719.0
6	10267	FRANK	1996-07-29	20858.0
7	10268	GROSR	1996-07-30	19887.0
8	10269	WHITC	1996-07-31	456.0

Index	C_CUSTKEY	C_NAME	C_CITY
4	HUNGC	Hardware mechanical	Dalian
5	MEREP	huake	Dalian
6	ALFKI	Sanchuan industrial ...	Tianjin
7	ANATR	The southeast indus...	Tianjin
8	ANTON	Tanson trading	Shijiazhuang
9	BLAUS	Sen tong	Tianjin

Index	C_CUSTKEY	C_NAME	C_CITY
1	ALFKI	Sanchuan industrial ...	Tianjin
2	ANATR	The southeast indus...	Tianjin
3	BLAUS	Sen tong	Tianjin
4	CHOPS	Haotian travel agency	Tianjin
5	COMMI	With the constant	Tianjin
6	EASTC	zhongtong	Tianjin

Index	O_ORDERKEY	O_CUSTKEY	O_ORDERDATE	O_TOTALPRICE
1	10268	[GROSR,Light far tra...	1996-07-30	19887.0
2	10273	[QUICK,Go to a cra...	1996-08-05	22821.0
3	10274	[VINET,Mount tai en...	1996-08-06	601.0
4	10276	[TORTU,Xiechangni ...	1996-08-08	4152.0
5	10277	[MORGK,ZhongTang...	1996-08-09	37731.0
6	10281	[ROMEY,Dehua food...	1996-08-14	294.0
7	10282	[ROMEY,Dehua food...	2007-12-11	1269.0
8	10283	[LILAS,Rich's life,Tia...	1996-08-16	25443.0

Index	C_CITY	O_TOTALPRICE
1	Tianjin	3419828.0

示例代码

	A	B
1	=CUSTOMER.select@i(C_CITY=="Tianjin")	/过滤客户表，并利用原有索引建立过滤后的客户表的索引
2	=file("ORDERS.ctx").create().cursor().switch@i(O_CUSTKEY,A1:C_CUSTKEY)	/外键属性化并删除关联不上的记录
3	=A1.groups(O_ORDERDATE;sum(O_TOTALPRICE):O_TOTALPRICE)	/按照订购日期汇总订单的销售额

内连接 – 维表字段仅用于过滤

事实表和维表做内连接，维表仅用于过滤中，可以读入事实表数据同时和过滤后维表关联，丢弃关联不上的记录。

ORDERS

Index	O_ORDERKEY	O_CUSTKEY	O_ORDERDATE	O_TOTALPRICE
1	10262	RATTC	1996-07-22	14487.0
2	10263	ERNSH	1996-07-23	43818.0
3	10264	FOLKO	2007-12-18	1101.0
4	10265	BLONP	1996-07-25	5528.0
5	10266	WARTH	1996-07-26	7719.0
6	10267	FRANK	1996-07-29	20858.0
7	10268	GROSR	1996-07-30	19887.0
8	10269	WHITC	1996-07-31	456.0
9	10270	WARTH	1996-08-01	13654.0
10	10271	SPLIR	1996-08-01	908.0
11	10272	RATTC	1996-08-02	19606.0
12	10273	QUICK	1996-08-05	22821.0
13	10274	VINET	1996-08-06	601.0
14	10275	MAGAA	1996-08-07	2693.0
15	10276	TORTU	1996-08-08	4152.0
16	10277	MORGK	1996-08-09	37731.0
17	10278	BERGS	1996-08-12	18538.0
18	10279	LEHMS	1996-08-13	5166.0
19	10280	BERGS	2007-12-25	898.0
20	10281	ROMEY	1996-08-14	294.0

1 逐步读入数据，与维表做哈希匹配

2

3

CUSTOMER

Index	C_CUSTKEY	C_NAME	C_CITY
1	ALFKI	Sanchuan industrial co. LTD	Tianjin
2	ANATR	The southeast industrial	Tianjin
3	BLAUS	Sen tong	Tianjin
4	CHOPS	Haotian travel agency	Tianjin
5	COMMI	With the constant	Tianjin
6	EASTC	zhongtong	Tianjin

内存区

4 关联计算，关联不上则删除

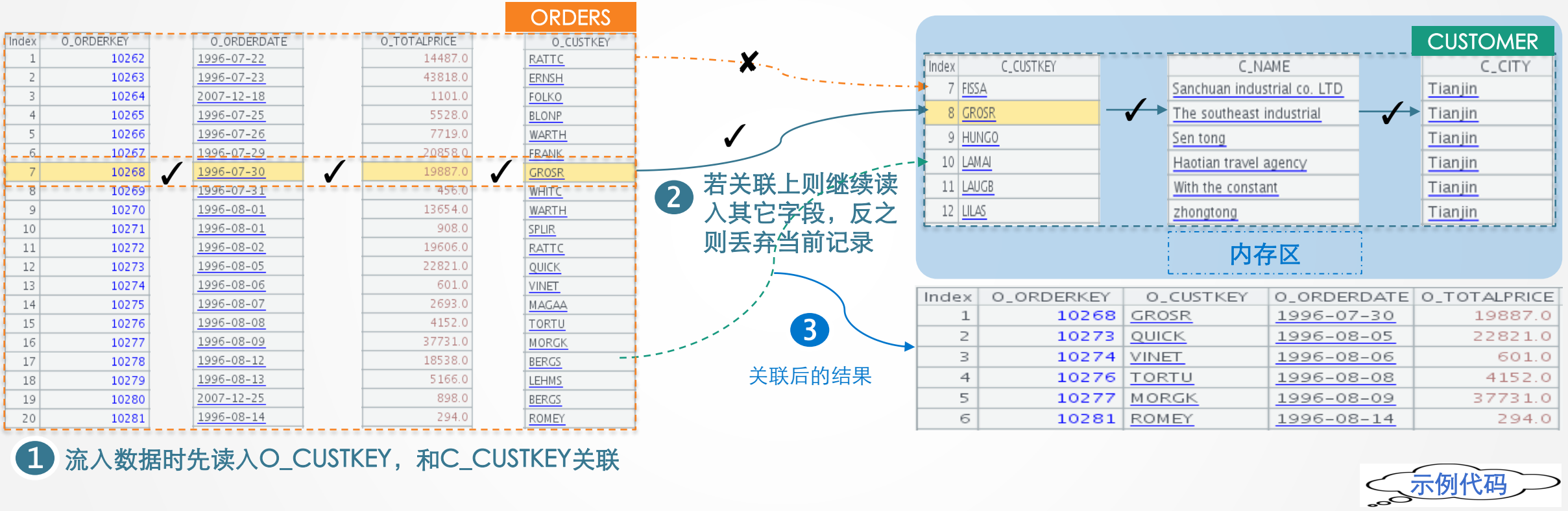
Index	O_ORDERKEY	O_CUSTKEY	O_ORDERDATE	O_TOTALPRICE
1	10268	GROSR	1996-07-30	19887.0
2	10273	QUICK	1996-08-05	22821.0
3	10274	VINET	1996-08-06	601.0
4	10276	TORTU	1996-08-08	4152.0
5	10277	MORGK	1996-08-09	37731.0
6	10281	ROMEY	1996-08-14	294.0

示例代码

	A	B
1	=file(“ORDERS.ctx”).create().cursor()	/建立订单表记录游标，逐步读入数据
2	=A1.join@i(O_CUSTKEY,CUSTOMER:C_CUSTKEY)	/在流入数据时将订单表中的客户ID字段和过滤后的客户表做关联，丢弃关联不上的记录
3	=A2.groups(O_ORDERDATE;sum(O_TOTALPRICE):O_TOTALPRICE)	/按照订购日期汇总订单的销售额

内连接 – 游标读出时关联并过滤

在游标读出时关联并过滤，关联不上则不再读出其它字段，过滤掉较多记录时可以明显减少IO操作从而提升性能。



示例代码

	A	B
1	=file("ORDERS.ctx").create().cursor(;CUSTOMER.find(C_CUSTKEY))	/在流入数据时先读入客户ID字段，然后和客户表做关联，能关联上则继续读入其它字段，反之则丢弃当前记录
2	=A1.groups(O_ORDERDATE;sum(O_TOTALPRICE):O_TOTALPRICE)	/按照订购日期汇总订单的销售额

内连接 – 关联过滤的同时属性化

事实表和维表做内连接，维表的字段用于过滤条件中，我们可以先对维表进行过滤，再边读入事实表数据边和过滤后维表做关联，丢弃关联不上的记录。

ORDERS

Index	O_ORDERKEY	O_CUSTKEY	O_ORDERDATE	O_TOTALPRICE
1	10262	RATTC	1996-07-22	14487.0
2	10263	ERNSH	1996-07-23	43818.0
3	10264	FOLKO	2007-12-18	1101.0
4	10265	BLONP	1996-07-25	5528.0
5	10266	WARTH	1996-07-26	7719.0
6	10267	FRANK	1996-07-29	20858.0
7	10268	GROSR	1996-07-30	19887.0
8	10269	WHITC	1996-07-31	456.0
9	10270	WARTH	1996-08-01	13654.0
10	10271	SPLIR	1996-08-01	908.0
11	10272	RATTC	1996-08-02	19606.0
12	10273	QUICK	1996-08-05	22821.0
13	10274	VINET	1996-08-06	601.0
14	10275	MAGAA	1996-08-07	2693.0
15	10276	TORTU	1996-08-08	4152.0
16	10277	MORGK	1996-08-09	37731.0
17	10278	BERGS	1996-08-12	18538.0
18	10279	LEHMS	1996-08-13	5166.0
19	10280	BERGS	2007-12-25	898.0
20	10281	ROMEY	1996-08-14	294.0

1 逐步读入数据，并进行外键属性化转换

2

3

CUSTOMER

Index	C_CUSTKEY	C_NAME	C_CITY
1	ALFKI	Sanchuan industrial co. LTD	Tianjin
2	ANATR	The southeast industrial	Tianjin
3	BLAUS	Sen tong	Tianjin
4	CHOPS	Haotian travel agency	Tianjin
5	COMMI	With the constant	Tianjin
6	EASTC	zhongtong	Tianjin

内存区

4 外键属性化后的结果

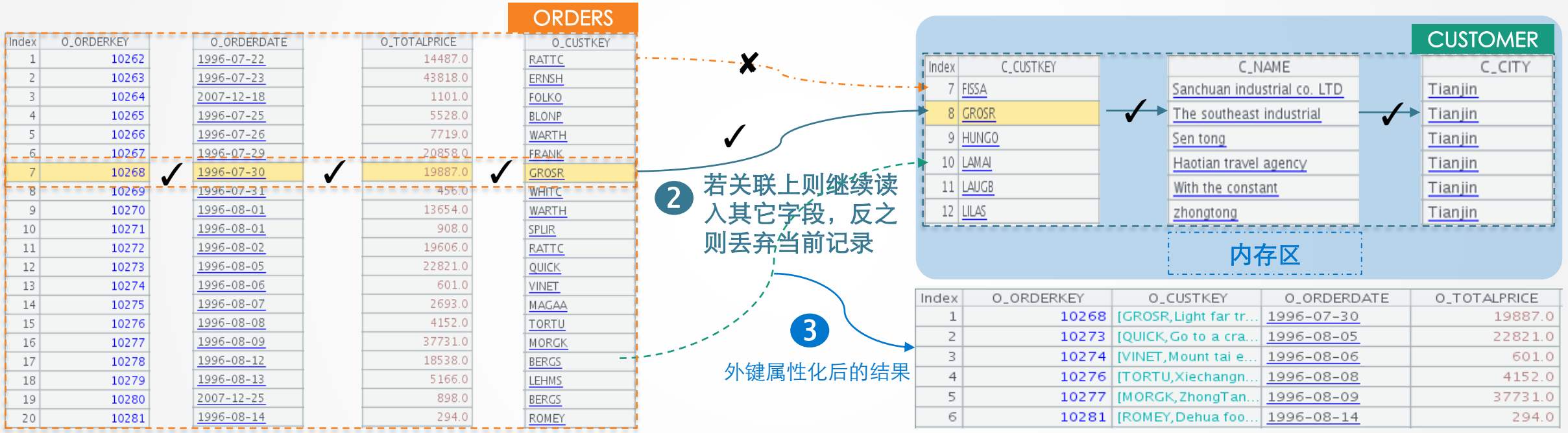
Index	O_ORDERKEY	O_CUSTKEY	O_ORDERDATE	O_TOTALPRICE
1	10268	[GROSR,Light far tr...	1996-07-30	19887.0
2	10273	[QUICK,Go to a cra...	1996-08-05	22821.0
3	10274	[VINET,Mount tai e...	1996-08-06	601.0
4	10276	[TORTU,Xiechangn...	1996-08-08	4152.0
5	10277	[MORGK,ZhongTan...	1996-08-09	37731.0
6	10281	[ROMEY,Dehua foo...	1996-08-14	294.0

示例代码

	A	B
1	=file(“ORDERS.ctx”).create().cursor()	/建立订单表记录游标，逐步读入数据
2	=A1.switch@i(O_CUSTKEY,CUSTOMER:C_CUSTKEY)	/在流入数据时将订单表中的客户ID字段和过滤后的客户表做外键属性化，并删除关联不上的记录
3	=A2.groups(O_CUSTKEY.C_NAME:C_NAME;sum(O_TOTALPRICE):O_TOTALPRICE)	/按照客户公司名称汇总订单的销售额

内连接 – 游标读取时关联过滤并属性化

在游标读出时可以同时关联并过滤，然后再属性化，关联不上则不再读出其它字段，过滤掉较多记录时可以明显减少IO操作从而提升性能。



1 流入数据时先读入O_CUSTKEY，和C_CUSTKEY关联

示例代码

	A	B
1	=file("ORDERS.ctx").create().cursor(;O_CUSTKEY:CUSTOMER)	/在流入数据时先读入客户ID字段，然后和客户表做外键属性化，能关联上则继续读入其它字段，反之则丢弃当前记录
2	=A1.groups(O_CUSTKEY.C_NAME:C_NAME;sum(O_TOTALPRICE):O_TOTALPRICE)	/按照客户公司名称汇总订单的销售额

大维表

当事实表小(内存可放入)，维表大到无法放入内存，可以把JOIN转化为批量查找问题，即：用事实表关联字段在原维表中查找后相应记录做关联

维表(大)

PRODUCT

Index	P_ID	P_NAME	P_TYPENAME	P_PRICE
1	1	Apple juice	drinks	18.5
2	2	milk	drinks	21.0
3	3	Tomato sauce	condiments	12.0
4	4	salt	condiments	21.0
5	5	Sesame oil	condiments	22.35
6	6	soy sauce	condiments	15.0
7	7	Seafood pow...	Specialty pro...	27.0
8	8	pepper	condiments	40.0
9	9	chicken	Meat/poultry	97.0
10	10	crab	seafood	31.0
11	11	The mass of ...	Daily necessit...	21.0
12	12	German cheese	Daily necessit...	38.0
13	13	lobster	seafood	6.0
14	14	satay	Specialty pro...	23.25
15	15	aginomoto	condiments	15.5
16	16	biscuits	Dim sum	17.45
17	17	pork	Meat/poultry	39.0
18	18	cuttlefish	seafood	62.5
19	19	candy	Dim sum	9.2
20	20	Osmanthus c...	Dim sum	81.0

事实表(小)

RETURN

Index	L_ORDERKEY	L_PID	L_QUANTITY
1	10858	7	5.0
2	10866	2	21.0
3	10871	16	12.0

1

事实表(小)

Index	L_ORDERKEY	L_PID	L_QUANTITY
1	10858	7	5.0
2	10866	2	21.0
3	10871	16	12.0

按事实表批量查找后的维表记录小)

Index	P_ID	P_NAME	P_TYPENAME	P_PRICE
1	2	milk	drinks	21.0
2	7	Seafood powder	Specialty products	27.0
3	16	biscuits	Dim sum	17.45

2

JOIN关联结果

Index	L_ORDER...	L_PID	L_QUANTITY	P_NAME	P_TYPENA...	P_PRICE
1	10858	7	5.0	Seafood p...	Specialty ...	27.0
2	10866	2	21.0	milk	drinks	21.0
3	10871	16	12.0	biscuits	Dim sum	17.45

示例代码

	A
1	=file("RETURN.btx").import@b()
2	=file("PRODUCT.btx")
3	=A1.joinx@q(L_PID,A2:P_ID,P_NAME,P_TYPENAME,P_PRICE)
4	=A3.fetch()

A1：把退货表装入内存

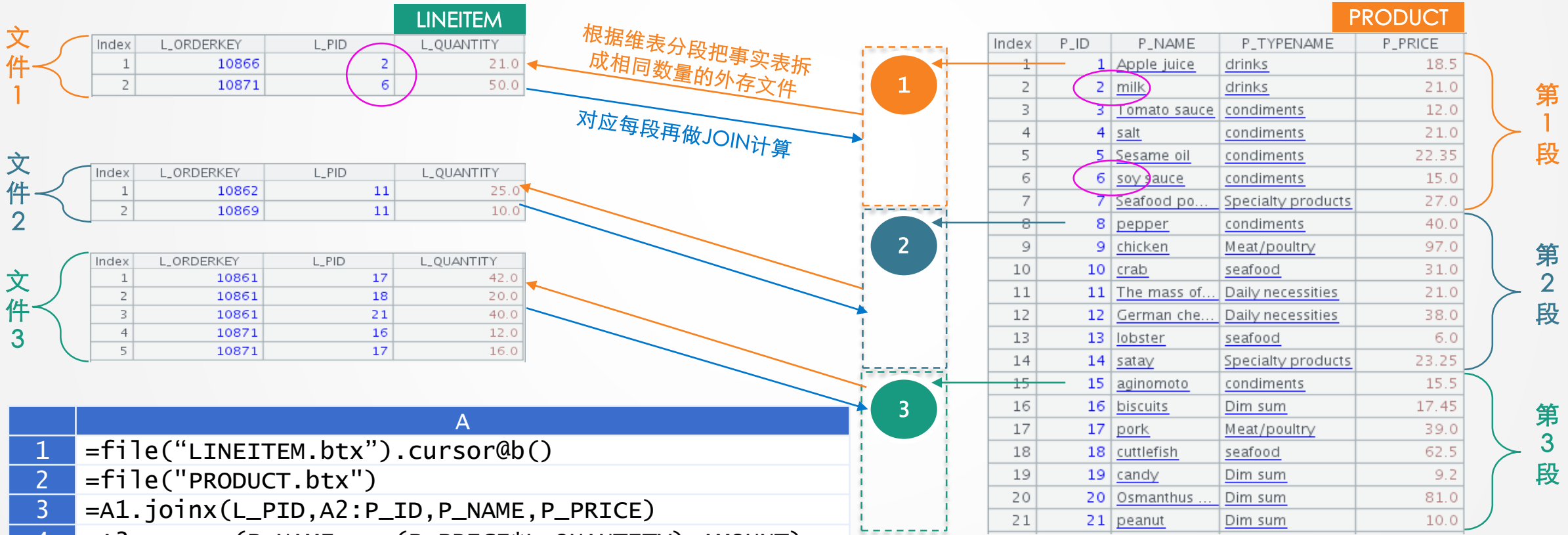
A2：给出产品表的文件对象

A3：按退货表在产品表中批量查找后的结果，退货表再与之关联

A4：退货表与缩小范围后的产品表做关联，计算出结果

单边HASH手段

事实表和维表都大到无法装入内存时，维表先按主键排序后即可平均分段读取(HASH分段难以保证平均)，关联时事实表根据维表分段键值划分成相同数量的临时文件，每个文件包含的维值都只对应维表的一个分段，这样只需依次读入外存文件和维表的段做连接。与传统的外存HASH JOIN相比，节省了对维表的HASH划分，也不不可能出现二次HASH!



	A
1	=file(“LINEITEM.btx”).cursor@b()
2	=file("PRODUCT.btx")
3	=A1.joinx(L_PID,A2:P_ID,P_NAME,P_PRICE)
4	=A3.groups(P_NAME;sum(P_PRICE*L_QUANTITY):AMOUNT)

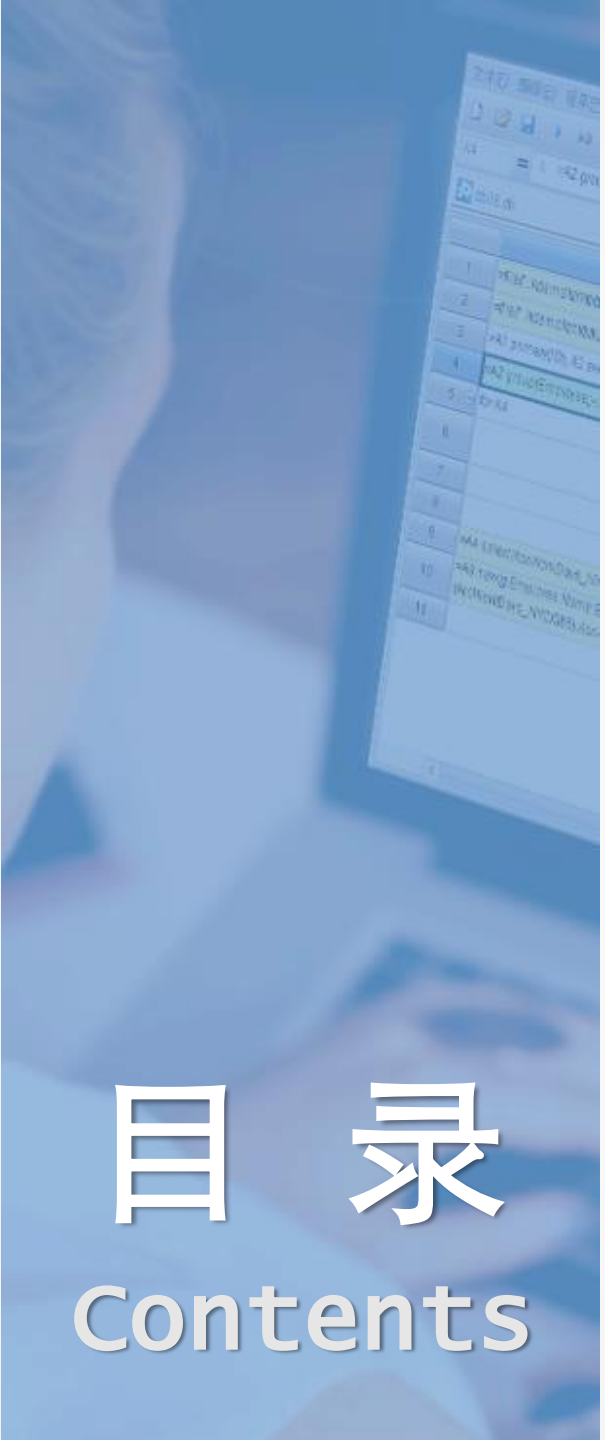
示例代码

A1：订单明细无法装入内存，使用游标访问

A2：给出产品表的文件对象

A3：关联

A4：分组汇总销售额

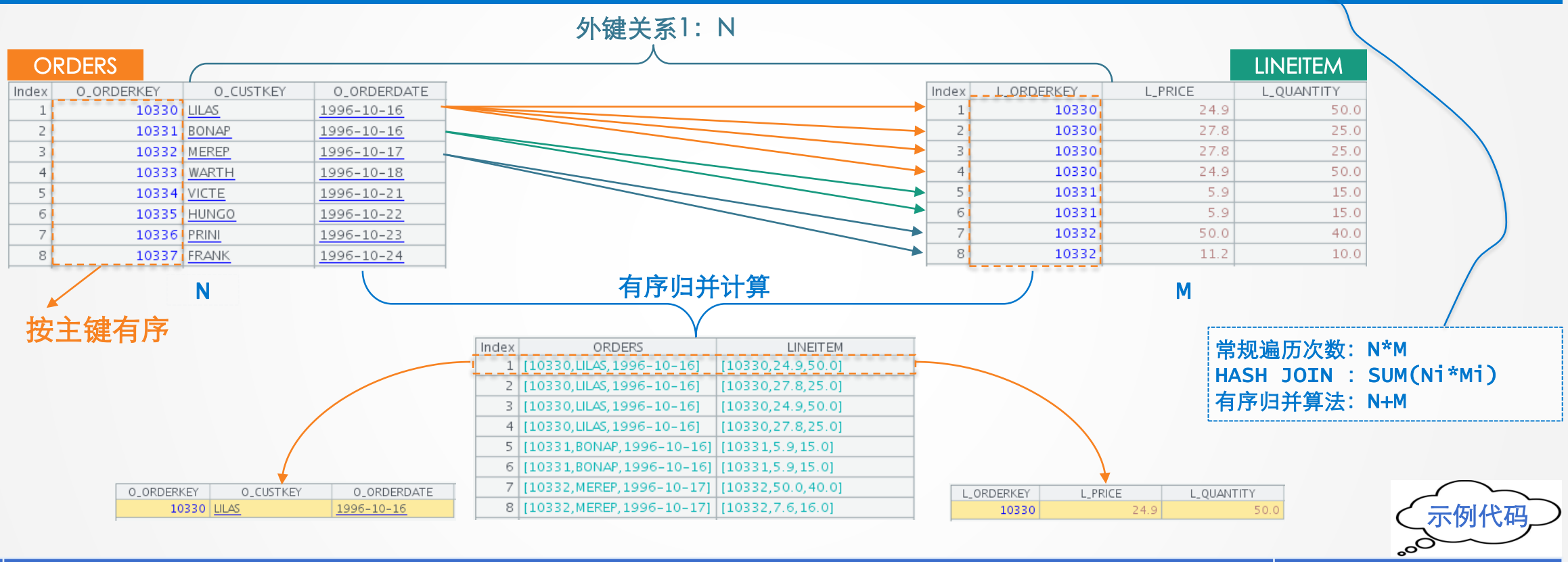


目 录

Contents

同维和主子表归并

同维表或主子表同步有序存储时，可以用归并算法一次遍历实现JOIN，复杂度要比外存分段HASH JOIN低很多！

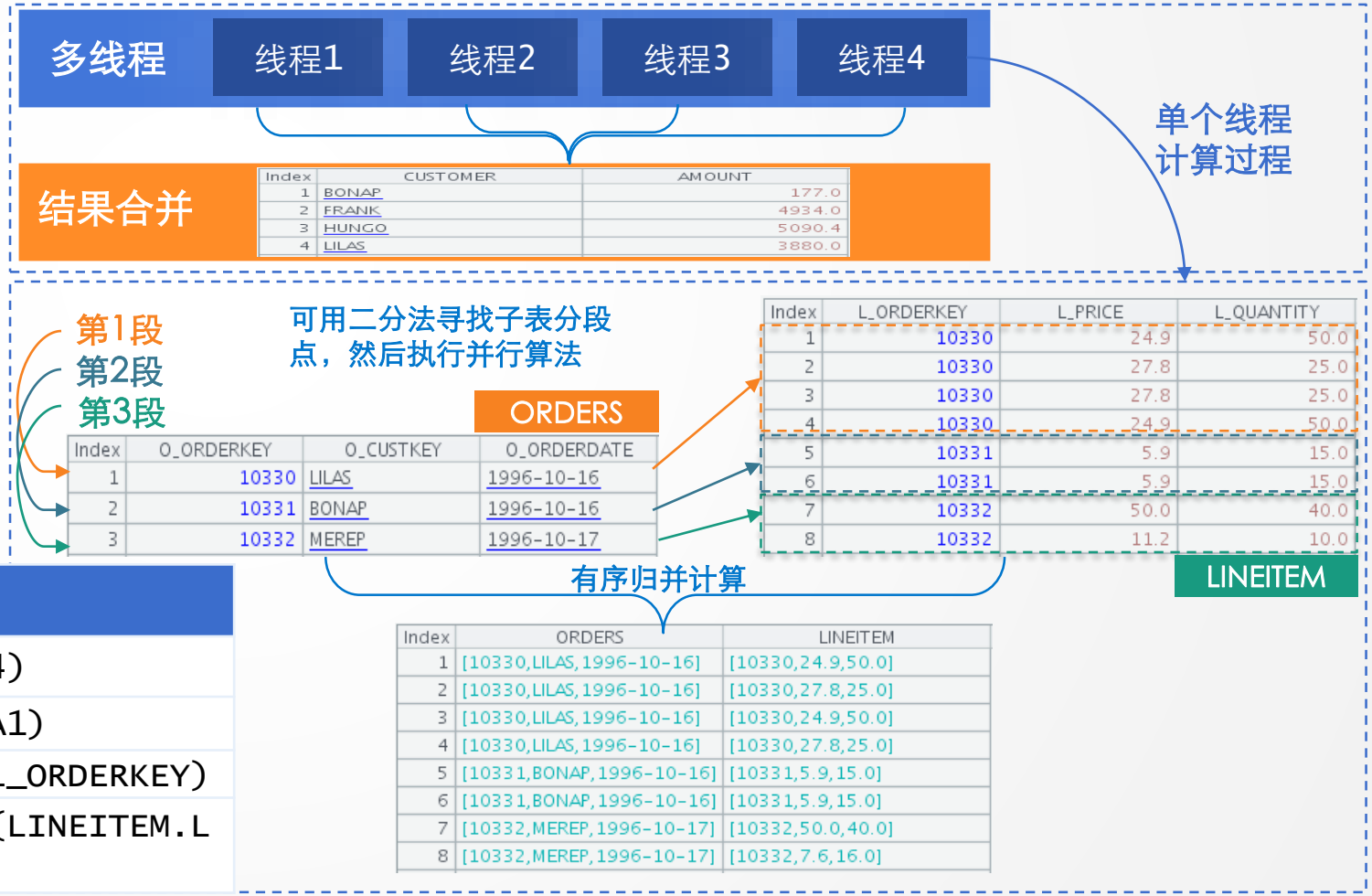


	A	B
1	=ORT=file("ORDERS.btx").cursor@b(),LIT=file("LINEITEM.btx").cursor@b()	/定义变量
2	=joinx(ORT:ORDERS,O_ORDERKEY;LIT:LINEITEM,L_ORDERKEY)	/有序归并连接
3	=A2.groups(ORDERS.O_CUSTKEY:CUST;sum(LINEITEM.L_PRICE*LINEITEM.L_QUANTITY):AMOUNT)	/分组汇总

并行归并 – 并行计算

并行计算能够显著提高性能，但传统HASH JOIN很难实现并行，并行 HASH 分段时需要同时向某个分段写出数据，造成共享资源冲突；而计算某一段又会几乎耗光所有内存，其它并行任务就无法进行。

有序存储易于实现分段并行。键值有序，所以主表每段的记录键值都属于某个连续区间，子表也有这个特性，这就可以在子表中执行高效的二分查找迅速定位出分段点；即数据有序保证了分段的合理性及高效性。



示例代码：

	A
1	=file(“ORDERS.ctx").create().cursor@m(;;4)
2	=file(“LINEITEM.ctx").create().cursor(;;A1)
3	=joinx(A1:ORDERS,O_ORDERKEY;A2:LINEITEM,L_ORDERKEY)
4	=A3.groups(ORDERS.O_CUSTKEY:CUSTOMER;sum(LINEITEM.L_PRICE*LINEITEM.L_QUANTITY):AMOUNT)

并行归并 – 生成同步数据

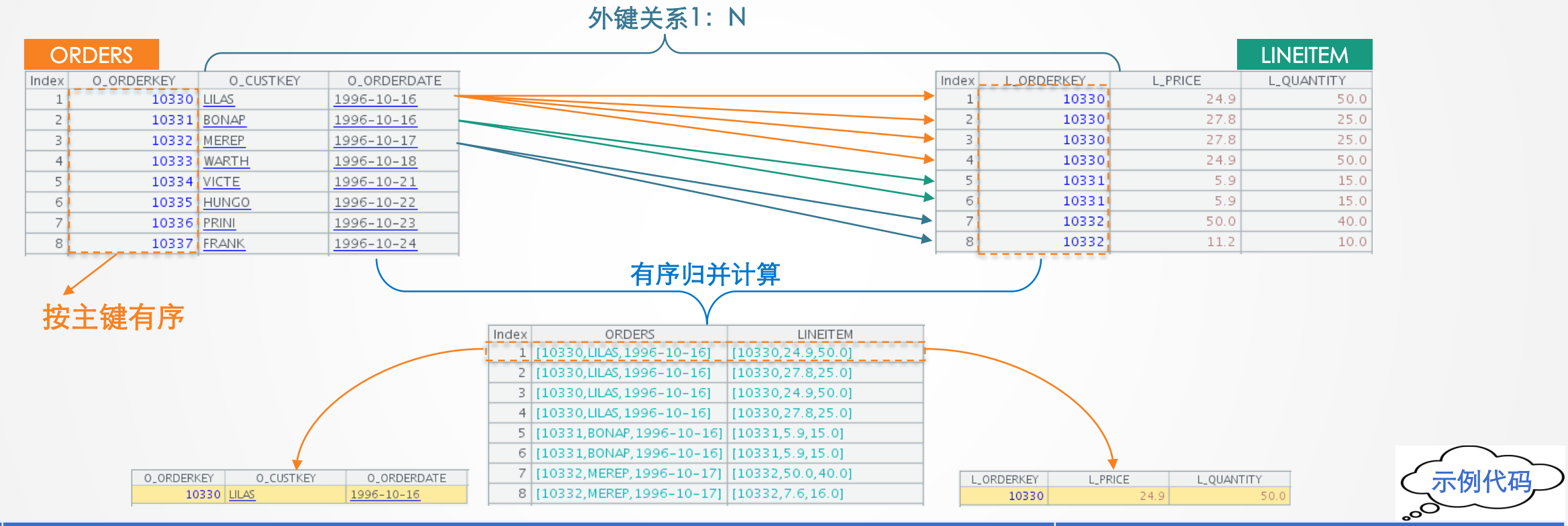
在生成数据时按某个基准表对齐，分段时即可保证多个表同步，归并计算时就不会发生记录错位！

生成组表数据保证主子对齐代码：

	A	B
1	=file(“ORDERS.txt").cursor@t(O_ORDERKEY,O_CUSTKEY,O_ORDERDATE)	/流式读入订单表.txt
2	=A1.sortx(O_ORDERKEY)	/按订单ID排序
3	=file(“ORDERS.ctx").create(#O_ORDERKEY,O_CUSTKEY,O_ORDERDATE)	/创建、打开组表
4	=A3.append(A2)	/将游标中的记录追加写入到组表中
5	=file(“LINEITEM.txt").cursor@t(L_ORDERKEY,L_PRICE,L_QUANTITY)	/流式读入订单明细.txt
6	=A5.sortx(L_ORDERKEY)	/按订单ID排序
7	=file(“LINEITEM.ctx”).create(#L_ORDERKEY,L_PRICE,L_QUANTITY;L_ORDERKEY)	/创建、打开组表，按订单ID字段分段，不会把订单ID同值的记录分到两段中
8	=A7.append(A6)	/将游标中的记录追加写入到组表中

主子表归并 – 用主表过滤子表

主表被某种条件过滤掉很多记录时，用前一页的办法关联，子表仍会被完全遍历，而这个办法会让子表遍历时根据主表的键跳，略过主表已经过滤掉的记录，减少子表的遍历，速度更快



Index	O_ORDERKEY	O_CUSTKEY	O_ORDERDATE
1	10330	LILAS	1996-10-16
2	10331	BONAP	1996-10-16
3	10332	MEREP	1996-10-17
4	10333	WARTH	1996-10-18
5	10334	VICTE	1996-10-21
6	10335	HUNGO	1996-10-22
7	10336	PRINI	1996-10-23
8	10337	FRANK	1996-10-24

Index	L_ORDERKEY	L_PRICE	L_QUANTITY
1	10330	24.9	50.0
2	10330	27.8	25.0
3	10330	27.8	25.0
4	10330	24.9	50.0
5	10331	5.9	15.0
6	10331	5.9	15.0
7	10332	50.0	40.0
8	10332	11.2	10.0

Index	ORDERS	LINEITEM
1	[10330,LILAS,1996-10-16]	[10330,24.9,50.0]
2	[10330,LILAS,1996-10-16]	[10330,27.8,25.0]
3	[10330,LILAS,1996-10-16]	[10330,24.9,50.0]
4	[10330,LILAS,1996-10-16]	[10330,27.8,25.0]
5	[10331,BONAP,1996-10-16]	[10331,5.9,15.0]
6	[10331,BONAP,1996-10-16]	[10331,5.9,15.0]
7	[10332,MEREP,1996-10-17]	[10332,50.0,40.0]
8	[10332,MEREP,1996-10-17]	[10332,7.6,16.0]

O_ORDERKEY	O_CUSTKEY	O_ORDERDATE
10330	LILAS	1996-10-16

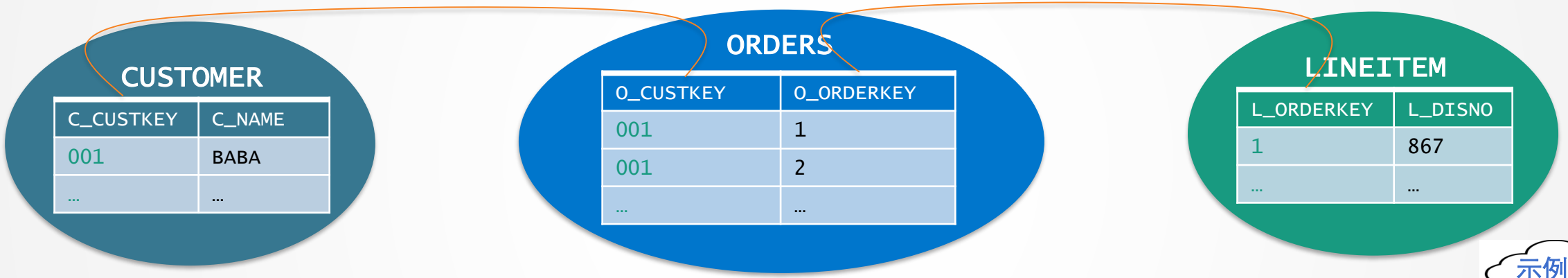
L_ORDERKEY	L_PRICE	L_QUANTITY
10330	24.9	50.0

	A	B
1	=file(“ORDERS.ctx”).create().cursor(O_ORDERKEY,O_CUSTKEY,O_ORDERDATE)	/创建订单表游标
2	=file(“LINEITEM.ctx”).create().news(A1,L_PRICE,L_QUANTITY,O_CUSTKEY,O_ORDERDATE)	/通过news创建订单明细表游标，引用订单表客户ID字段
3	=A2.groups(O_CUSTKEY;sum(L_PRICE*L_QUANTITY):AMOUNT)	/分组汇总客户的消费额

主子表关联后按照主表主键做分组运算

主子表关联时可以把子表记录拼成主表的子集（字段取值为集合）以处理连接后又对主表分组的运算，可直接在游标里写汇总运算。

表间关系示意图：



示例代码

	A
1	1995-03-15
2	=file(“CUSTOMER.ctx”).create().cursor@m(C_CUSTKEY,C_MKTSEGMENT;C_MKTSEGMENT==“BUILDING”) .fetch().keys@i(C_CUSTKEY)
3	=file("ORDERS.ctx").create().cursor@m(O_ORDERKEY,O_ORDERDATE,O_SHIPPRIORITY;O_ORDERDATE<A1 && A2.find(O_CUSTKEY))
4	=file("LINEITEM.ctx").create().new(A3,O_ORDERKEY,sum(L_EXTENDEDPRICE * (1-L_DISCOUNT)):revenue,O_ORDERDATE,O_SHIPPRIORITY;L_SHIPDATE>A1)
5	=A4.fetch().sort(revenue:-1,O_ORDERDATE)

主子表关联后按照主表主键做分组运算

上一页运行结果示意图：

CUSTOMER

Index	C_CUSTKEY	C_MKTSEGMENT
1	1	BUILDING
2	2	AUTOMOBILE
3	3	AUTOMOBILE
4	4	MACHINERY
5	5	HOUSEHOLD
6	6	AUTOMOBILE
7	7	AUTOMOBILE
8	8	BUILDING

ORDERS

Index	O_ORDERKEY	O_CUSTKEY	O_ORDERDATE	O_SHIPPRIORI...
1	1	36901	1996-01-02	0
2	2	78002	1996-12-01	0
3	3	123314	1993-10-14	0
4	4	136777	1995-10-11	0
5	5	44485	1994-07-30	0
6	6	55624	1992-02-21	0
7	7	39136	1996-01-10	0
8	32	130057	1995-07-16	0
9	33	66958	1993-10-27	0
10	34	61001	1998-07-21	0

LINEITEM

Index	L_ORDERKEY	L_EXTENDED...	L_DISCOUNT	L_SHIPDATE
1	1	21168.23	0.04	1996-03-13
2	1	45983.16	0.09	1996-04-12
3	1	13309.6	0.1	1996-01-29
4	1	28955.64	0.09	1996-04-21
5	1	22824.48	0.1	1996-03-30
6	1	49620.16	0.07	1996-01-30
7	2	44694.46	0.0	1997-01-28
8	3	54058.05	0.06	1994-02-02

1 条件等于 BUILDING

Index	C_CUSTKEY	C_MKTSEGMENT
1	1	BUILDING
2	8	BUILDING
3	11	BUILDING
4	13	BUILDING
5	18	BUILDING
6	27	BUILDING
7	30	BUILDING
8	32	BUILDING

2 在游标中执行主键关联和条件过滤

Index	O_ORDERKEY	O_ORDERDATE	O_SHIPPRIORITY
1	96	1994-04-17	0
2	165	1993-01-30	0
3	256	1993-10-19	0
4	258	1993-12-29	0
5	321	1993-03-21	0
6	356	1994-06-30	0
7	388	1992-12-16	0
8	417	1994-02-06	0

3 关联，条件过滤、分组汇总运算

Index	O_ORDERKEY	revenue	O_ORDERD...	O_SHIPPRIO...
1	577	57986.6224	1994-12-19	0
2	1281	82111.5548	1994-12-11	0
3	1637	268170.64...	1995-02-08	0
4	2053	144855.19...	1995-02-07	0
5	2114	29584.063...	1995-01-16	0
6	3430	8263.765	1994-12-12	0
7	3814	153733.96...	1995-02-22	0
8	6791	45774.437...	1995-02-02	0

4 按收入和日期排序

Index	O_ORDERKEY	revenue	O_ORDERD...	O_SHIPPRIO...
1	2456423	406181.01...	1995-03-05	0
2	3459808	405838.69...	1995-03-04	0
3	492164	390324.061	1995-02-19	0
4	1188320	384537.93...	1995-03-09	0
5	2435712	378673.05...	1995-02-26	0
6	4878020	378376.79...	1995-03-12	0
7	5521732	375153.92...	1995-03-13	0
8	2628192	373133.30...	1995-02-22	0

主子表一体化存储

采用层次存储还可以进一步提升计算性能，将主子表组合固化在存储格式中，使用时无需再次关联从而获得更高性能！

存储举例：

	A
1	=db.cursor("select * from ORDERS order by O_ID")
2	=db.cursor("select * from LINEITEM order by L_ID")
3	=file("MULTIPLE.ctx").create(#O_ID,C_ID,O_DATE)
4	=A3.append(A1)
5	=A3.attach(LINEITEM,#L_SUBID,PRICE,NUMS)
6	=A5.append(A2)

示例代码

ORDERS

O_ID	C_ID	O_DATE
10248	VINET	2018-03-02
10249	TOMSP	2018-03-03
…	…	…
…	…	…

LINEITEM

L_ID	L_SUBID	PRICE	NUMS
10248	1024801	14.00	12
10248	1024802	9.00	10
10249	1024901	18.00	9
…		…	…

组合存储

构造过程

O_ID	L_SUBID	PRICE	NUMS	C_ID	O_DATE
10248				VINET	2018-03-02
	1024801	14.00	12		
	1024802	9.00	10		
10249				TOMSP	2018-03-03
	1024901	18.00	9		
…		…	…	…	…

查询举例：

示例代码

	A	B
1	=file("MULTIPLE.ctx").create().attach(LINEITEM)	/打开附表订单明细
2	=A1.cursor@m(O_ID,C_ID,PRICE,NUMS;;4)	/建立附表多路游标，路数4
3	=A2.groups(C_ID:CUSTOMER;sum(PRICE*NUMS):AMOUNT)	/按客户分组汇总销售额

当订单1亿条，每条对应大约10条订单明细时，本案例实际测试结果：

耗时单位（秒）

2个主子joinx	主子合一	主子合一(4线程)
781	602	368

同维和主子表归并 – 有序与数据更新

有序归并的前提是将历史数据按主键排序后存储

追加数据的过程也是有序归并，把新增数据单独排序后和已有序的历史数据归并，而不必把所有历史数据重新排序，仍然是低成本的归并计算

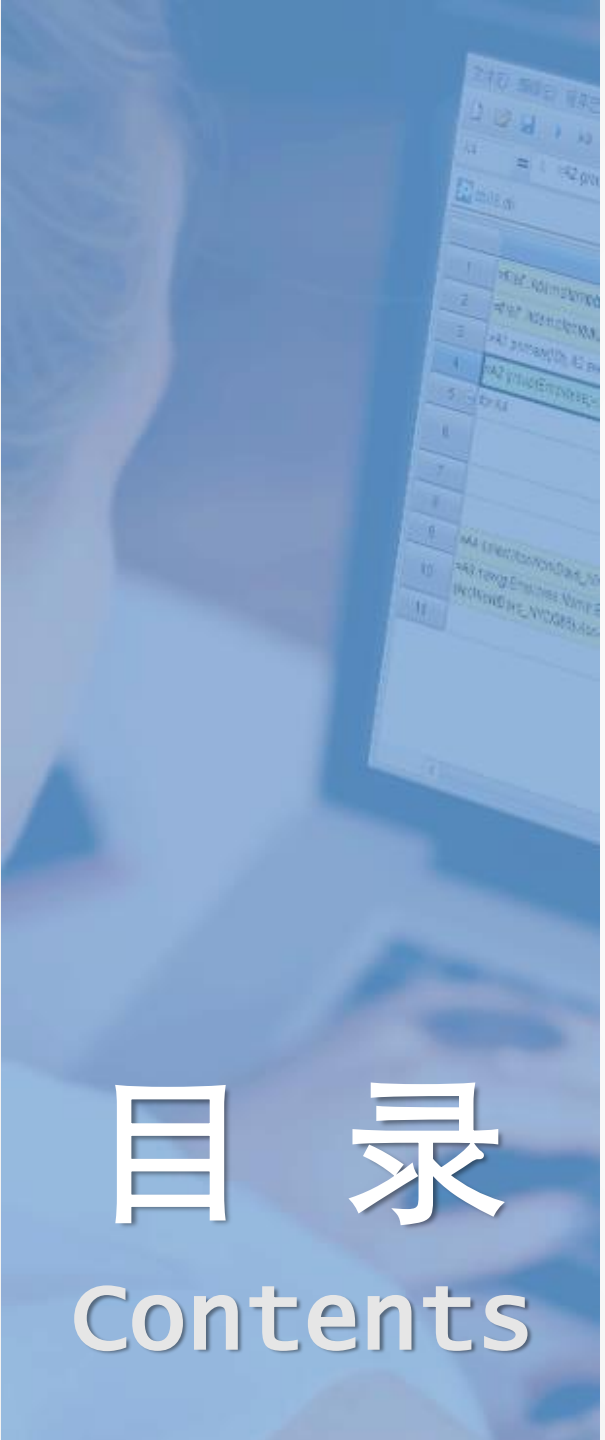
Index	O_ORDERKEY	O_CUSTKEY	O_ORDERDATE
1	10248	VINET	2011-10-04
2	10280	BERGS	2007-12-25
3	10264	FOLKO	2007-12-18
4	10282	ROMEY	2007-12-11
5	11106	BOLID	2007-08-07
6	11103	AROUT	2007-07-18

Index	O_ORDERKEY	O_CUSTKEY	O_ORDERDATE
1	10248	VINET	2011-10-04
2	10249	TOMSP	1996-07-05
3	10250	HANAR	1996-07-08
4	10251	VICTE	1996-07-09
5	10253	HANAR	1996-07-10
6	10254	CHOPS	1996-07-11

Index	O_ORDERKEY	O_CUSTKEY	O_ORDERDATE
1	10252	SUPRD	1996-07-09
2	10255	RICSU	1996-07-12

Index	O_ORDERKEY	O_CUSTKEY	O_ORDERDATE
1	10248	VINET	2011-10-04
2	10249	TOMSP	1996-07-05
3	10250	HANAR	1996-07-08
4	10251	VICTE	1996-07-09
5	10252	SUPRD	1996-07-09
6	10253	HANAR	1996-07-10
7	10254	CHOPS	1996-07-11
8	10255	RICSU	1996-07-12

	A	B
1	=file("ORDERS.ctx").create()	/打开订单表
2	=db.query@x("select * from ORDERS where O_ORDERDATE>='1996-07-09' order by O_ORDERKEY")	/从数据库取出新数据并关闭
3	=A1.append(A2.cursor())	/累计增量数据到原订单表



目 录

Contents

子查询转换成连接 – 说明

此部分内容讲解什么情况下的子查询可以转为JOIN，JOIN的优化方法请参照前面的内容

假定所有例子中涉及到的表都按主键有序存储

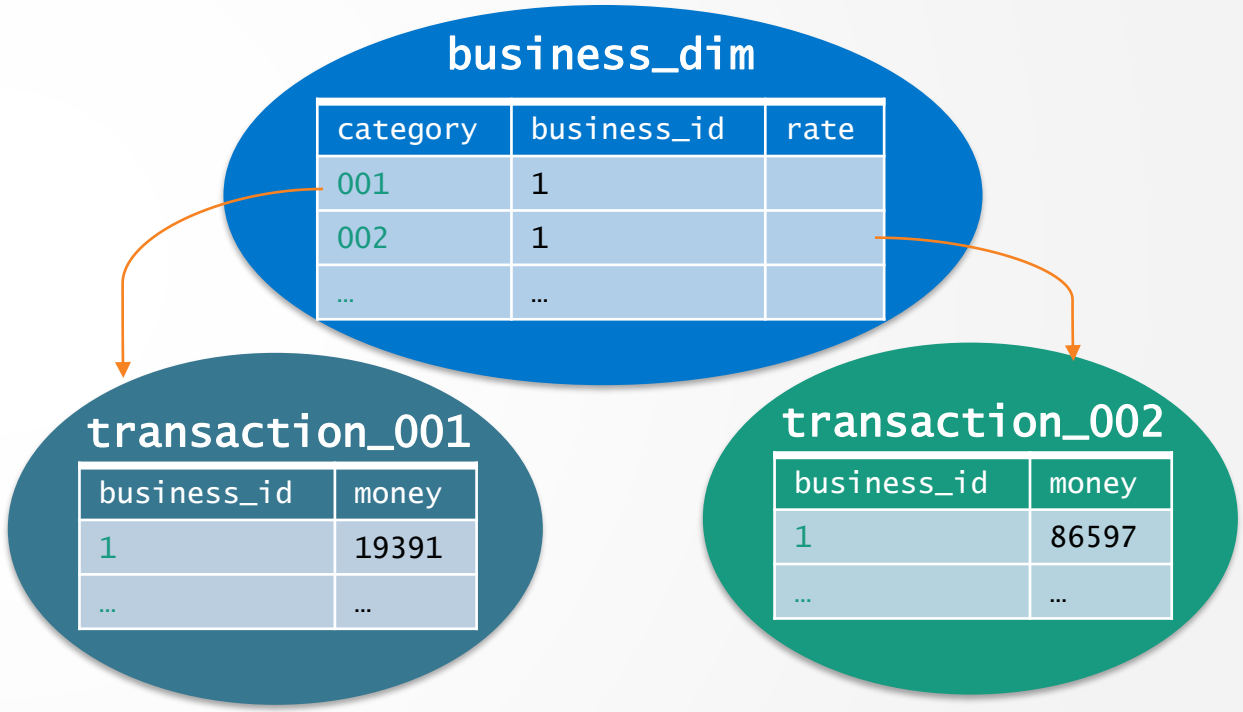
关联键只针对维表主键的部分字段

比如：银行业事实表按业务存成多个表（保险主表、理财主表等），不同业务对应的维表结构相同，因此增加了一个分类字段把这些维表合成了一个大维表。

维表结构（category，business_id为主键）：
category，business_id，rate，…
事实表只包含business_id字段没有category字段，事实主表的category值是事先定好的，比如保险主表对应的category是001，如右图所示：

```
select
        d.business_id, d.rate, sum(t.money) as money
from
        transaction_001 as t, business_dim as d
where
        d. category = ‘001’ and t. business_id = d.
business_id
group by
        d.business_id, d.rate
```

SQL



事实主表只包含维表主键的部分字段

优化思路1：对维表进行过滤得到以business_id为主键的新维表，这样就可以跟事实表用business_id字段关联，这样关连的时候维表需要按business_id字段建索引

Index	category	business_id	rate
1	001	0	0.91
2	001	1	0.87
3	001	2	0.01
4	001	3	0.92
5	001	4	0.11
6	001	5	0.28
7	001	6	0.83
8	001	7	0.35
9	001	8	0.19
10	001	9	0.47
11	002	0	0.71
12	002	1	0.01

Index	business_id	money
1	5	865978
2	5	165139
3	8	193911
4	6	466862
5	3	149485
6	1	47206
7	5	473464
8	9	8712
9	9	46493
10	3	68179

Index	business_id	money	rate
1	5	865978	0.28
2	5	165139	0.28
3	8	193911	0.19
4	6	466862	0.83
5	3	149485	0.92
6	1	47206	0.87
7	5	473464	0.28
8	9	8712	0.47
9	9	46493	0.47
10	3	68179	0.92

Index	business_id	rate	money
1	1	0.87	47206
2	3	0.92	217664
3	5	0.28	1504581
4	6	0.83	466862
5	8	0.19	193911
6	9	0.47	55205

思路2：对于常数条件，可看作是多字段主键，事实表用[“001”, business_id]和维表做关联，示例如下：

	A
1	=file(“business_dim.btx”).import@b()
2	=A1.keys@i(category, business_id)
3	=A2.select(category=="001")
4	=file(“transaction_001.btx”).cursor@b(business_id,money)
5	=A4.join(business_id, A3:business_id, rate)
6	=A5.groups(business_id, rate; sum(money):money)

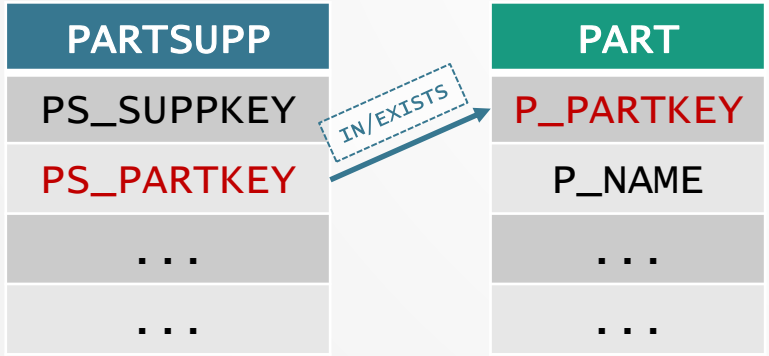
	A
1	=file(“business_dim.btx”).import@b()
2	=A1.keys@i(category, business_id)
3	=file(“transaction_001.btx”).cursor@b(business_id,money)
4	=A3.join("001": business_id, A1, rate)
5	=A4.groups(business_id, rate; sum(money):money)

外键和维表做IN、EXISTS关联查询

① 外键和维表做IN关联查询

```sql
SELECT
        PS_SUPPKEY, COUNT(1) AS S_COUNT
FROM
        PARTSUPP
WHERE
        PS_PARTKEY IN (
                SELECT
                        P_PARTKEY
                FROM
                        PART
                WHERE
                        P_NAME LIKE 'bisque%%'
        )
GROUP BY PS_SUPPKEY
```

SQL



② 外键和维表做EXISTS关联查询

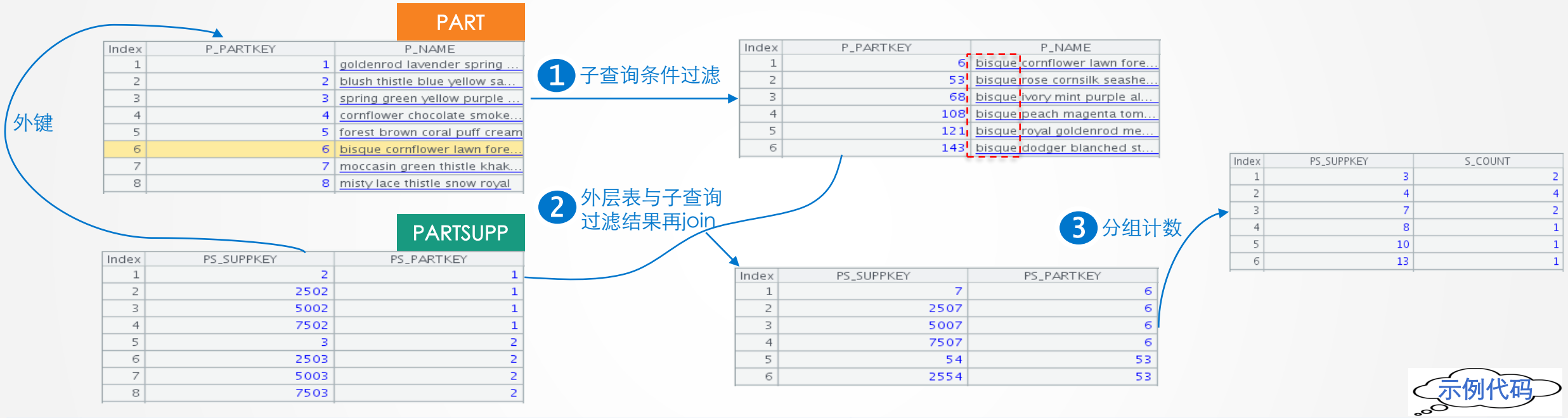
```sql
SELECT
        PS_SUPPKEY, COUNT(1) AS S_COUNT
FROM
        PARTSUPP
WHERE
        EXISTS (
                SELECT *
FROM
PART
                WHERE
                        P_PARTKEY = PS_PARTKEY
                        AND P_NAME LIKE 'bisque%%'
        )
GROUP BY PS_SUPPKEY
```

SQL

以上例子可转化为外键式JOIN!

外键和维表做IN、EXISTS关联查询

优化思路：子查询过滤后读入内存并建立索引，外层表在游标读出时与子查询关联并过滤，关联不上则不再读出其它字段，过滤掉较多记录时可以明显减少IO操作从而提升性能。



Index	P_PARTKEY	P_NAME
1	1	goldenrod lavender spring ...
2	2	blush thistle blue yellow sa...
3	3	spring green yellow purple ...
4	4	cornflower chocolate smoke...
5	5	forest brown coral puff cream
6	6	bisque cornflower lawn fore...
7	7	moccasin green thistle khak...
8	8	misty lace thistle snow royal

Index	P_PARTKEY	P_NAME
1	6	bisque cornflower lawn fore...
2	53	bisque rose cornsilk seashe...
3	68	bisque ivory mint purple al...
4	108	bisque peach magenta tom...
5	121	bisque royal goldenrod me...
6	143	bisque dodger blanched st...

Index	PS_SUPPKEY	PS_PARTKEY
1	2	1
2	2502	1
3	5002	1
4	7502	1
5	3	2
6	2503	2
7	5003	2
8	7503	2

Index	PS_SUPPKEY	PS_PARTKEY
1	7	6
2	2507	6
3	5007	6
4	7507	6
5	54	53
6	2554	53

Index	PS_SUPPKEY	S_COUNT
1	3	2
2	4	4
3	7	2
4	8	1
5	10	1
6	13	1

	A	B
1	=file("PART.ctx").create().cursor(P_PARTKEY,P_NAME; like(P_NAME, "bisque*"))	/在流入数据时对PART过滤
2	=A1.fetch().index()	/建索引
3	=file("PARTSUPP.ctx").create().cursor(PS_SUPPKEY, PS_PARTKEY; A2.find(P_PARTKEY))	/在流入数据时先读入PS_PARTKEY字段，然后和P_PARTKEY做关联，能关联上则继续读入其它字段，反之则丢弃当前记录
4	=A3.groups(PS_SUPPKEY; count(1):S_COUNT)	/分组、计数

主表和子表做IN、EXISTS关联查询

① 主表和子表做IN关联查询

```SQL
SELECT
	O_ORDERPRIORITY, COUNT(*) AS O_COUNT
FROM
	ORDERS
WHERE
	O_ORDERDATE >= DATE '1995-10-01'
	AND O_ORDERDATE < DATE '1995-10-01' +
INTERVAL '3' MONTH
	AND O_ORDERKEY IN (
		SELECT
			L_ORDERKEY
		FROM
			LINEITEM
		WHERE
			L_COMMITDATE< L_RECEIPTDATE
	)

GROUP BY
	O_ORDERPRIORITY
```

SQL

② 主表和子表做EXISTS关联查询

```SQL
SELECT
	O_ORDERPRIORITY, COUNT(*) AS O_COUNT
FROM
	ORDERS
WHERE
	O_ORDERDATE >= DATE '1995-10-01'
	AND O_ORDERDATE < DATE '1995-10-01' +
INTERVAL '3' MONTH
	AND EXISTS (
		SELECT
			*
		FROM
			LINEITEM
		WHERE
			L_ORDERKEY = O_ORDERKEY
			AND L_COMMITDATE < L_RECEIPTDATE
		)
GROUP BY
	O_ORDERPRIORITY
```

SQL

ORDERS 、LINEITEM为主子表，ORDERS 表的主键是O_ORDERKEY，LINEITEM表的主键为L_ORDERKEY、L_LINENUMBER；选出字段经过过滤后不是逻辑主键！

主表和子表做IN、EXISTS关联查询

优化思路：关联字段不是逻辑主键，需对子查询分组去重后再做关联，变成类似于逻辑主键的情况！

子表 LINEITEM

Index	L_ORDERKEY	L_COMMITDATE	L_RECEIPTDATE
1	1	1996-02-12	1996-03-22
2	1	1996-02-28	1996-04-20
3	1	1996-03-05	1996-01-31
4	1	1996-03-30	1996-05-16
5	1	1996-03-14	1996-04-01
6	1	1996-02-07	1996-02-03
7	2	1997-01-14	1997-02-02
8	3	1994-01-04	1994-02-23

1 过滤、分组去重

Index	L_ORDERKEY
1	1
2	2
3	3
4	4
5	5
6	7

子查询结果集内存可放下

主表 ORDERS

Index	O_ORDERKEY	O_ORDERDATE	O_ORDERPRIORI...
1	1	1996-01-02	5-LOW
2	2	1996-12-01	1-URGENT
3	3	1993-10-14	5-LOW
4	4	1995-10-11	5-LOW
5	5	1994-07-30	5-LOW
6	6	1992-02-21	4-NOT SPECIFIED
7	7	1996-01-10	2-HIGH
8	32	1995-07-16	2-HIGH

2 外层表过滤后,与子查询过滤结果再join

Index	O_ORDERKEY	O_ORDERDATE	O_ORDERPRIORITY
1	4	1995-10-11	5-LOW
2	35	1995-10-23	4-NOT SPECIFIED
3	36	1995-11-03	1-URGENT
4	135	1995-10-21	4-NOT SPECIFIED
5	227	1995-11-10	5-LOW
6	262	1995-11-25	4-NOT SPECIFIED
7	420	1995-10-31	4-NOT SPECIFIED
8	454	1995-12-27	5-LOW

3 分组汇总

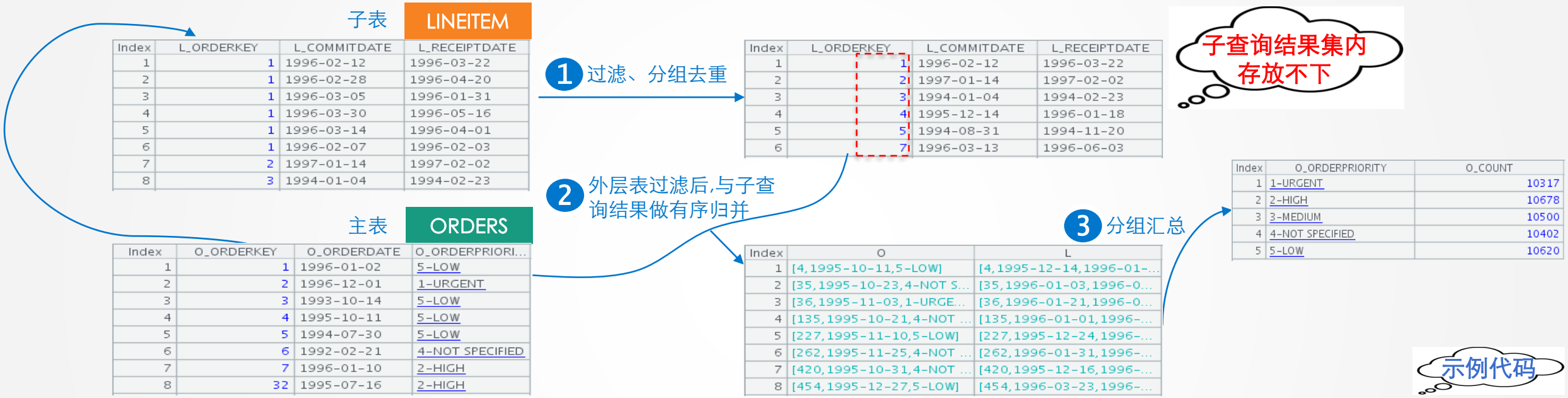
Index	O_ORDERPRIORITY	O_COUNT
1	1-URGENT	10317
2	2-HIGH	10678
3	3-MEDIUM	10500
4	4-NOT SPECIFIED	10402
5	5-LOW	10620

示例代码

	A	B
1	1995-10-01	=after@m(A1,3)
2	=file("LINEITEM.btx").cursor@b(L_ORDERKEY,L_COMMITDATE,L_RECEIPTDATE)	/在LINEITEM表所对应的集文件上定义游标
3	=A2.select(L_COMMITDATE < L_RECEIPTDATE)	/对游标附加过滤操作
4	=A3.groups(L_ORDERKEY)	/对L_ORDERKEY去重
5	=file("ORDERS.btx").cursor@b(O_ORDERKEY,O_ORDERDATE,O_ORDERPRIORITY)	/在ORDER表所对应的集文件上定义游标
6	=A5.select(O_ORDERDATE>=A1 && O_ORDERDATE < B1)	/对游标附加过滤操作
7	=A6.join@i(O_ORDERKEY, A4:L_ORDERKEY)	/对ORDERS游标连接过滤,@i选项表示内连接
8	=A7.groups(O_ORDERPRIORITY;count(1):O_COUNT)	/对游标计算分组得到最终结果

主表和子表做IN、EXISTS关联查询

优化思路：在上页基础上，外层表和内层表按关联字段有序，可以利用有序游标的归并连接来做优化！



Index	L_ORDERKEY	L_COMMITDATE	L_RECEIPTDATE
1	1	1996-02-12	1996-03-22
2	1	1996-02-28	1996-04-20
3	1	1996-03-05	1996-01-31
4	1	1996-03-30	1996-05-16
5	1	1996-03-14	1996-04-01
6	1	1996-02-07	1996-02-03
7	2	1997-01-14	1997-02-02
8	3	1994-01-04	1994-02-23

Index	O_ORDERKEY	O_ORDERDATE	O_ORDERPRIORI...
1	1	1996-01-02	5-LOW
2	2	1996-12-01	1-URGENT
3	3	1993-10-14	5-LOW
4	4	1995-10-11	5-LOW
5	5	1994-07-30	5-LOW
6	6	1992-02-21	4-NOT SPECIFIED
7	7	1996-01-10	2-HIGH
8	32	1995-07-16	2-HIGH

Index	L_ORDERKEY	L_COMMITDATE	L_RECEIPTDATE
1	1	1996-02-12	1996-03-22
2	2	1997-01-14	1997-02-02
3	3	1994-01-04	1994-02-23
4	4	1995-12-14	1996-01-18
5	5	1994-08-31	1994-11-20
6	7	1996-03-13	1996-06-03

Index	O	L
1	[4,1995-10-11,5-LOW]	[4,1995-12-14,1996-01-...
2	[35,1995-10-23,4-NOT S...	[35,1996-01-03,1996-0...
3	[36,1995-11-03,1-URGE...	[36,1996-01-21,1996-0...
4	[135,1995-10-21,4-NOT ...	[135,1996-01-01,1996-...
5	[227,1995-11-10,5-LOW]	[227,1995-12-24,1996-...
6	[262,1995-11-25,4-NOT ...	[262,1996-01-31,1996-...
7	[420,1995-10-31,4-NOT ...	[420,1995-12-16,1996-...
8	[454,1995-12-27,5-LOW]	[454,1996-03-23,1996-...

Index	O_ORDERPRIORITY	O_COUNT
1	1-URGENT	10317
2	2-HIGH	10678
3	3-MEDIUM	10500
4	4-NOT SPECIFIED	10402
5	5-LOW	10620

	A	B
1	1995-10-01	=after@m(A1,3)
2	=file("LINEITEM.btx").cursor@b(L_ORDERKEY,L_COMMITDATE,L_RECEIPTDATE)	/在LINEITEM表所对应的集文件上定义游标
3	=A2.select(L_COMMITDATE < L_RECEIPTDATE)	/对游标附加过滤操作
4	=A3.group@1(L_ORDERKEY)	/对L_ORDERKEY去重
5	=file("ORDERS.btx").cursor@b(O_ORDERKEY,O_ORDERDATE,O_ORDERPRIORITY)	/在ORDER表所对应的集文件上定义游标
6	=A5.select(O_ORDERDATE>=A1 && O_ORDERDATE < B1)	/对游标附加过滤操作
7	=joinx(A6:O,O_ORDERKEY; A4:L,L_ORDERKEY)	/做有序内连接
8	=A7.groups(O.O_ORDERPRIORITY;count(1):O_COUNT)	/对游标计算分组得到最终结果

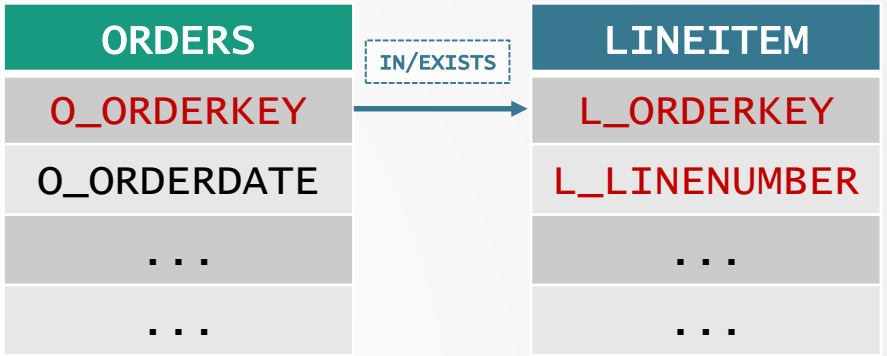
主表和子表，关联字段过滤成为逻辑主键

主表和子表做IN(EXIST)关联查询

```
SELECT
      O_ORDERPRIORITY, COUNT(*) AS O_COUNT
FROM
      ORDERS
WHERE
      O_ORDERDATE >= DATE '1995-10-01'
      AND O_ORDERDATE < DATE '1995-10-01' +
INTERVAL '3' MONTH
      AND O_ORDERKEY IN (
            SELECT
                  L_ORDERKEY
            FROM
                  LINEITEM
            WHERE L_LINENUMBER = 1
                  L_COMMITDATE< L_RECEIPTDATE
      )

GROUP BY
      O_ORDERPRIORITY
```

SQL

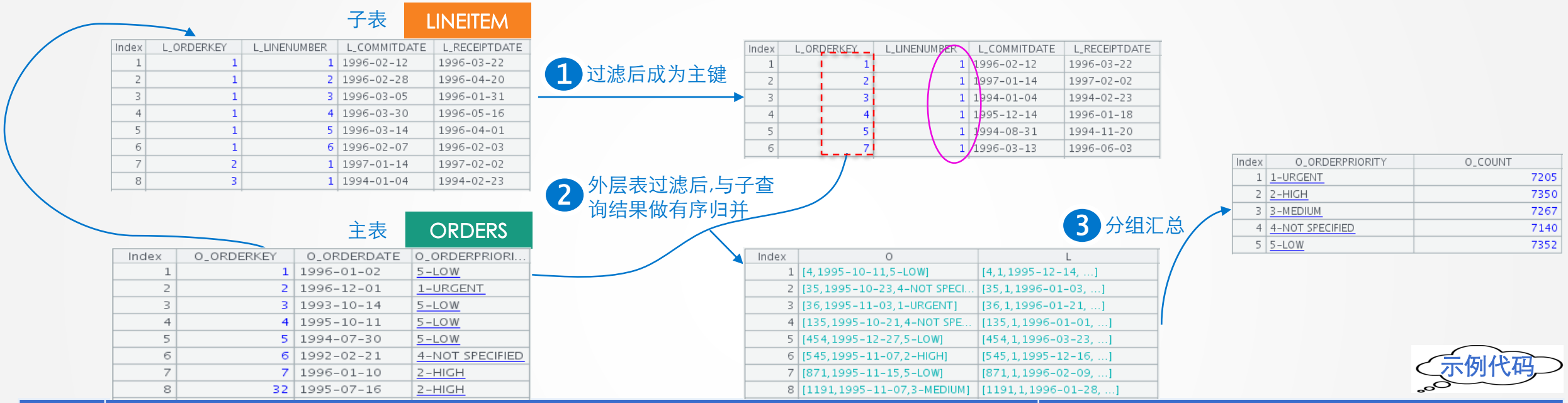


ORDERS 、LINEITEM为主子表，ORDERS 表的主键是O_ORDERKEY，LINEITEM表的主键为L_ORDERKEY、L_LINENUMBER；且子查询选出字段不是逻辑主键！

限定了L_LINENUMBER = 1后，选出的L_ORDERKEY成为了逻辑主键！

主表和子表，关联字段过滤成为逻辑主键

优化思路：外层表和内层表(过滤成为主键)按关联字段有序，可以利用有序游标的归并连接来做优化！



子表 LINEITEM

Index	L_ORDERKEY	L_LINENUMBER	L_COMMITDATE	L_RECEIPTDATE
1	1	1	1996-02-12	1996-03-22
2	1	2	1996-02-28	1996-04-20
3	1	3	1996-03-05	1996-01-31
4	1	4	1996-03-30	1996-05-16
5	1	5	1996-03-14	1996-04-01
6	1	6	1996-02-07	1996-02-03
7	2	1	1997-01-14	1997-02-02
8	3	1	1994-01-04	1994-02-23

1 过滤后成为主键

Index	L_ORDERKEY	L_LINENUMBER	L_COMMITDATE	L_RECEIPTDATE
1	1	1	1996-02-12	1996-03-22
2	2	1	1997-01-14	1997-02-02
3	3	1	1994-01-04	1994-02-23
4	4	1	1995-12-14	1996-01-18
5	5	1	1994-08-31	1994-11-20
6	7	1	1996-03-13	1996-06-03

主表 ORDERS

Index	O_ORDERKEY	O_ORDERDATE	O_ORDERPRIORI...
1	1	1996-01-02	5-LOW
2	2	1996-12-01	1-URGENT
3	3	1993-10-14	5-LOW
4	4	1995-10-11	5-LOW
5	5	1994-07-30	5-LOW
6	6	1992-02-21	4-NOT SPECIFIED
7	7	1996-01-10	2-HIGH
8	32	1995-07-16	2-HIGH

2 外层表过滤后,与子查询结果做有序归并

Index	O	L
1	[4,1995-10-11,5-LOW]	[4,1,1995-12-14, ...]
2	[35,1995-10-23,4-NOT SPECI...	[35,1,1996-01-03, ...]
3	[36,1995-11-03,1-URGENT]	[36,1,1996-01-21, ...]
4	[135,1995-10-21,4-NOT SPE...	[135,1,1996-01-01, ...]
5	[454,1995-12-27,5-LOW]	[454,1,1996-03-23, ...]
6	[545,1995-11-07,2-HIGH]	[545,1,1995-12-16, ...]
7	[871,1995-11-15,5-LOW]	[871,1,1996-02-09, ...]
8	[1191,1995-11-07,3-MEDIUM]	[1191,1,1996-01-28, ...]

3 分组汇总

Index	O_ORDERPRIORITY	O_COUNT
1	1-URGENT	7205
2	2-HIGH	7350
3	3-MEDIUM	7267
4	4-NOT SPECIFIED	7140
5	5-LOW	7352

示例代码

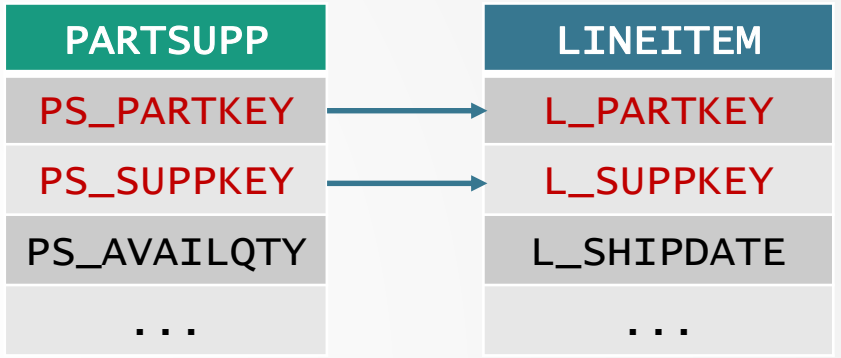
	A	B
1	1995-10-01	=after@m(A1,3)
2	=file("LINEITEM.btx").cursor@b(L_ORDERKEY,L_LINENUMBER,L_COMMITDATE,L_RECEIPTDATE)	/在LINEITEM表所对应的集文件上定义游标
3	=A2.select(L_LINENUMBER == 1 && L_COMMITDATE < L_RECEIPTDATE)	/对游标附加过滤操作
4	=file("ORDERS.btx").cursor@b(O_ORDERKEY,O_ORDERDATE,O_ORDERPRIORITY)	/在ORDER表所对应的集文件上定义游标
5	=A4.select(O_ORDERDATE>=A1 && O_ORDERDATE < B1)	/对游标附加过滤操作
6	=joinx(A5:O,O_ORDERKEY; A3:L,L_ORDERKEY)	/做有序内连接
7	=A6.groups(O.O_ORDERPRIORITY;count(1):O_COUNT)	/对游标计算分组得到最终结果

子查询转换成连接 – WHERE子查询

WHERE子查询举例：

```SQL
SELECT
        PS_SUPPKEY
FROM
        PARTSUPP
WHERE
        PS_AVAILQTY > (
        SELECT
                0.5 * SUM(L_QUANTITY)
        FROM
                LINEITEM
        WHERE
                L_PARTKEY = PS_PARTKEY
                AND L_SUPPKEY = PS_SUPPKEY
                AND L_SHIPDATE >= DATE '1995-04-01'
                AND L_SHIPDATE < DATE '1995-04-01' + INTERVAL '1' YEAR
        )
```

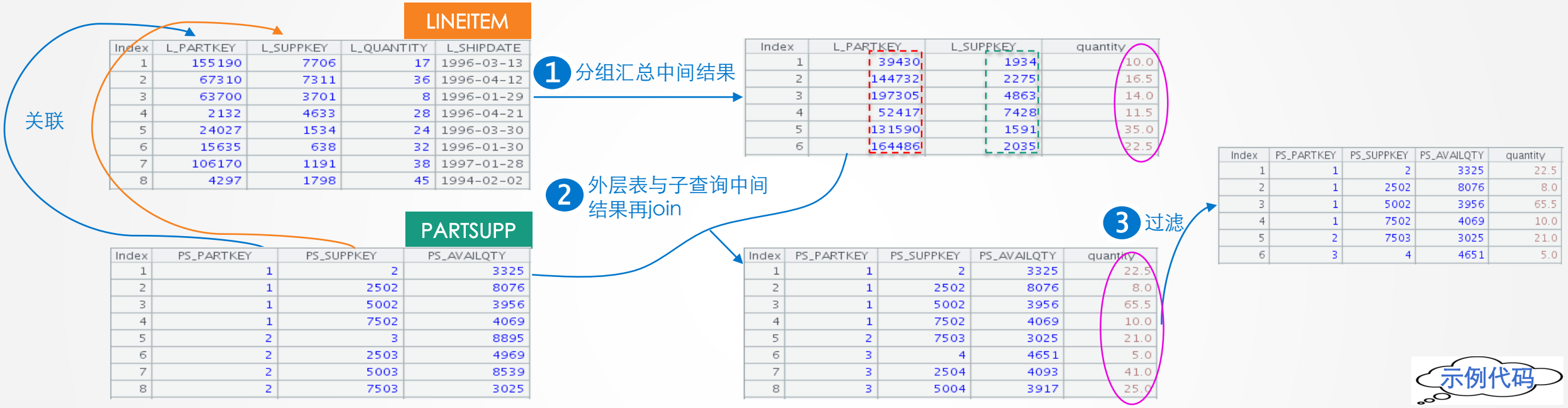
SQL



子查询里的LINEITEM 与外层主表PARTSUPP按PARTKEY、SUPPKEY做关联，可先把LINEITEM过滤后按PARTKEY、SUPPKEY汇总出一个临时表，然后外层PARTSUPP再与汇总表做关联！

子查询转换成连接 – WHERE子查询

优化思路：子查询按照涉及到的关联字段分组，计算出一个临时维表再与外层的表做JOIN！



LINEITEM

Index	L_PARTKEY	L_SUPPKEY	L_QUANTITY	L_SHIPDATE
1	155190	7706	17	1996-03-13
2	67310	7311	36	1996-04-12
3	63700	3701	8	1996-01-29
4	2132	4633	28	1996-04-21
5	24027	1534	24	1996-03-30
6	15635	638	32	1996-01-30
7	106170	1191	38	1997-01-28
8	4297	1798	45	1994-02-02

Index	L_PARTKEY	L_SUPPKEY	quantity
1	39430	1934	10.0
2	144732	2275	16.5
3	197305	4863	14.0
4	52417	7428	11.5
5	131590	1591	35.0
6	164486	2035	22.5

PARTSUPP

Index	PS_PARTKEY	PS_SUPPKEY	PS_AVAILQTY
1	1	2	3325
2	1	2502	8076
3	1	5002	3956
4	1	7502	4069
5	2	3	8895
6	2	2503	4969
7	2	5003	8539
8	2	7503	3025

Index	PS_PARTKEY	PS_SUPPKEY	PS_AVAILQTY	quantity
1	1	2	3325	22.5
2	1	2502	8076	8.0
3	1	5002	3956	65.5
4	1	7502	4069	10.0
5	2	7503	3025	21.0
6	3	4	4651	5.0
7	3	2504	4093	41.0
8	3	5004	3917	25.0

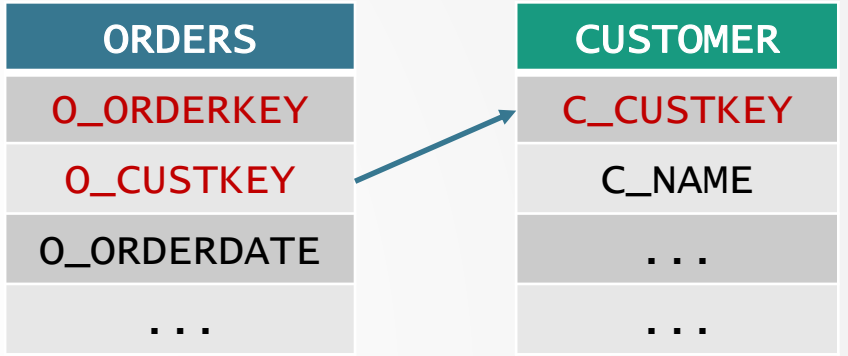
Index	PS_PARTKEY	PS_SUPPKEY	PS_AVAILQTY	quantity
1	1	2	3325	22.5
2	1	2502	8076	8.0
3	1	5002	3956	65.5
4	1	7502	4069	10.0
5	2	7503	3025	21.0
6	3	4	4651	5.0

	A	B
1	=after@y(date,1)	/获取参数日期的下一年
2	=file(“LINEITEM.btx”).cursor@b(L_PARTKEY,L_SUPPKEY,L_QUANTITY,L_SHIPDATE)	/在LINEITEM表所对应的集文件上定义游标
3	=A2.select(L_SHIPDATE >= date && L_SHIPDATE < A1)	/对游标附加过滤操作
4	=A3.groups@u(L_PARTKEY,L_SUPPKEY;sum(L_QUANTITY) * 0.5:quantity)	/分组汇总,@u表示结果集不按分组字段排序
5	=file(“PARTSUPP.btx”).cursor@b(PS_PARTKEY,PS_SUPPKEY,PS_AVAILQTY)	/对游标附加过滤操作
6	=A5.join@i(PS_PARTKEY:PS_SUPPKEY,A4:L_PARTKEY:L_SUPPKEY,quantity)	/对PARTSUPP连接过滤,@i选项表示内连接
7	=A6.select(PS_AVAILQTY>quantity).fetch()	/对游标过滤得到最终结果

集合运算 – 差集运算

找出在一个表中存在而在另一个表中不存在的记录:

```SQL
SELECT
        COUNT(1)
FROM
        CUSTOMER
WHERE
        NOT EXISTS (
                SELECT *
                FROM
                        ORDERS
                WHERE
                        O_CUSTKEY = C_CUSTKEY
        )
```



此问题可转化为两个集合的差集运算!

集合运算 – 差集运算

ORDERS

Index	O_ORDER...	O_CUSTKEY	O_ORDER...	O_TOTAL...	O_ORDER...	O_ORDER...
1	1	36901	O	173665.47	1996-01...	5-LOW
2	2	78002	O	46929.18	1996-12...	1-URGENT
3	3	123314	F	193846.25	1993-10...	5-LOW
4	4	136777	O	32151.78	1995-10...	5-LOW
5	5	44485	F	144659.2	1994-07...	5-LOW
6	6	55624	F	58749.59	1992-02...	4-NOT SP...
7	7	39136	O	252004.18	1996-01...	2-HIGH
8	32	130057	O	208660.75	1995-07...	2-HIGH

Index	O_CUSTKEY
1	1
2	2
3	4
4	5
5	7
6	8

CUSTOMER

Index	C_CUSTKEY	C_NAME	C_ADDRESS	C_NATIO...	C_PHONE
1	1	Customer...	IVhzIApe...	15	25-989-...
2	2	Customer...	XSTf4,NC...	13	23-768-...
3	3	Customer...	MG9kdT...	1	11-719-...
4	4	Customer...	XxVSJsLA...	4	14-128-...
5	5	Customer...	KvpyuHC...	3	13-750-...
6	6	Customer...	sKZz0Csn...	20	30-114-...
7	7	Customer...	TcGe5ga...	18	28-190-...
8	8	Customer...	l0B10bB0...	17	27-147-...

Index	C_CUSTKEY
1	3
2	6
3	9
4	12
5	15
6	18
7	21
8	24

① 子查询结果内存可放下

	A	B
1	=file("ORDERS.btx").cursor@b(O_CUSTKEY)	/定义游标
2	=A1.groups(O_CUSTKEY)	/O_CUSTKEY去重
3	=file("CUSTOMER.btx").cursor@b(C_CUSTKEY)	/定义游标
4	=A3.join@d(C_CUSTKEY,A2:O_CUSTKEY)	/关联，@d为取差集
5	=A4.total(count(1))	/对游标汇总记录数

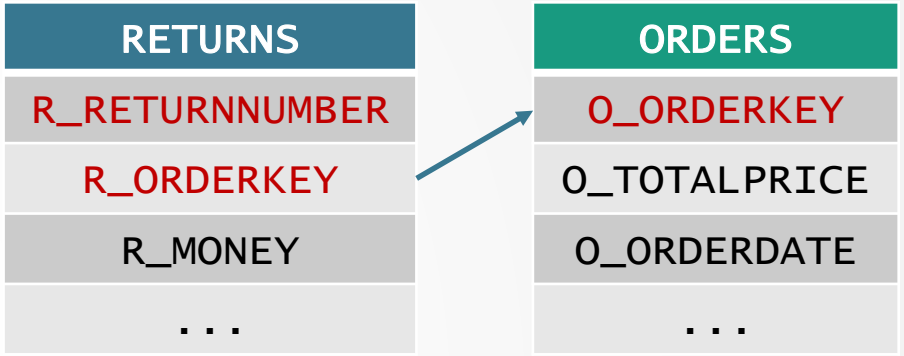
② 子查询数据量大，内存放不下，可做归并运算

	A	B
1	=file("ORDERS.btx").cursor@b(O_CUSTKEY)	/定义游标
2	=A1.groupx(O_CUSTKEY:C_CUSTKEY)	/分组去重
3	=file("CUSTOMER.btx").cursor@b(C_CUSTKEY)	/定义游标
4	=[A3,A2].mergex@d(C_CUSTKEY)	/归并，@d为取差集
5	=A4.total(count(1))	/对游标汇总记录数

集合运算 – 交集运算

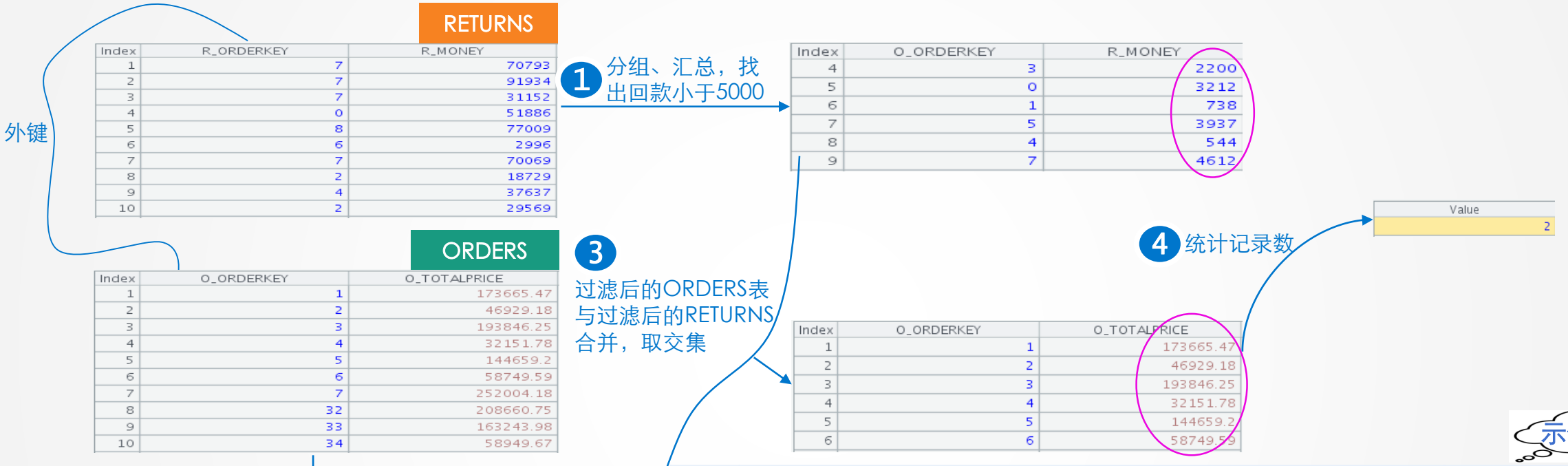
求出订单金额超过10000，但回款小于5000的订单

```SQL
SELECT
	O_ORDERKEY
FROM
	ORDERS
WHERE
	O_TOTALPRICE > 10000
INTERSECT
SELECT
	R_ORDERKEY
FROM
	RETURNS
GROUP BY
	R_ORDERKEY HAVING SUM(R_MONEY) < 5000
```



此问题可转化为两个集合的交集运算！

集合运算 – 交集运算



Index	R_ORDERKEY	R_MONEY
1	7	70793
2	7	91934
3	7	31152
4	0	51886
5	8	77009
6	6	2996
7	7	70069
8	2	18729
9	4	37637
10	2	29569

Index	O_ORDERKEY	R_MONEY
4	3	2200
5	0	3212
6	1	738
7	5	3937
8	4	544
9	7	4612

Index	O_ORDERKEY	O_TOTALPRICE
1	1	173665.47
2	2	46929.18
3	3	193846.25
4	4	32151.78
5	5	144659.2
6	6	58749.59
7	7	252004.18
8	32	208660.75
9	33	163243.98
10	34	58949.67

Index	O_ORDERKEY	O_TOTALPRICE
1	1	173665.47
2	2	46929.18
3	3	193846.25
4	4	32151.78
5	5	144659.2
6	6	58749.59

Index	O_ORDERKEY	O_TOTALPRICE
1	1	173665.47
2	2	46929.18
3	3	193846.25
4	4	32151.78
5	5	144659.2
6	6	58749.59

	A	B
1	=file("RETURNS.btx").cursor@b(R_ORDERKEY,R_MONEY)	/定义游标
2	=A1.group(R_ORDERKEY:O_ORDERKEY;sum(R_MONEY):R_MONEY).select(R_MONEY < 5000)	/分组去重
3	=file("ORDERS.btx").cursor@b(O_ORDERKEY,O_TOTALPRICE).select(O_TOTALPRICE>10000)	/定义游标
4	=[A3,A2].mergex@i(O_ORDERKEY)	/归并，@i取交集
5	=A4.total(count(1))	/汇总记录数

同表关联，EXISTS 非等值条件

```
SELECT
	L_SUPPKEY, COUNT(*) AS NUMWAIT
FROM
	LINEITEM L1,
WHERE
	L1.L_RECEIPTDATE > L1.L_COMMITDATE
	AND EXISTS (
		SELECT
			*
		FROM
			LINEITEM L2
		WHERE
			L2.L_ORDERKEY = L1.L_ORDERKEY
			AND L2.L_SUPPKEY <> L1.L_SUPPKEY
		)
	AND NOT EXISTS (
		SELECT
			*
		FROM
			LINEITEM L3
		WHERE
			L3.L_ORDERKEY = L1.L_ORDERKEY
			AND L3.L_SUPPKEY <> L1.L_SUPPKEY
			AND L3.L_RECEIPTDATE > L3.L_COMMITDATE
		)
GROUP BY
	L_SUPPKEY
```

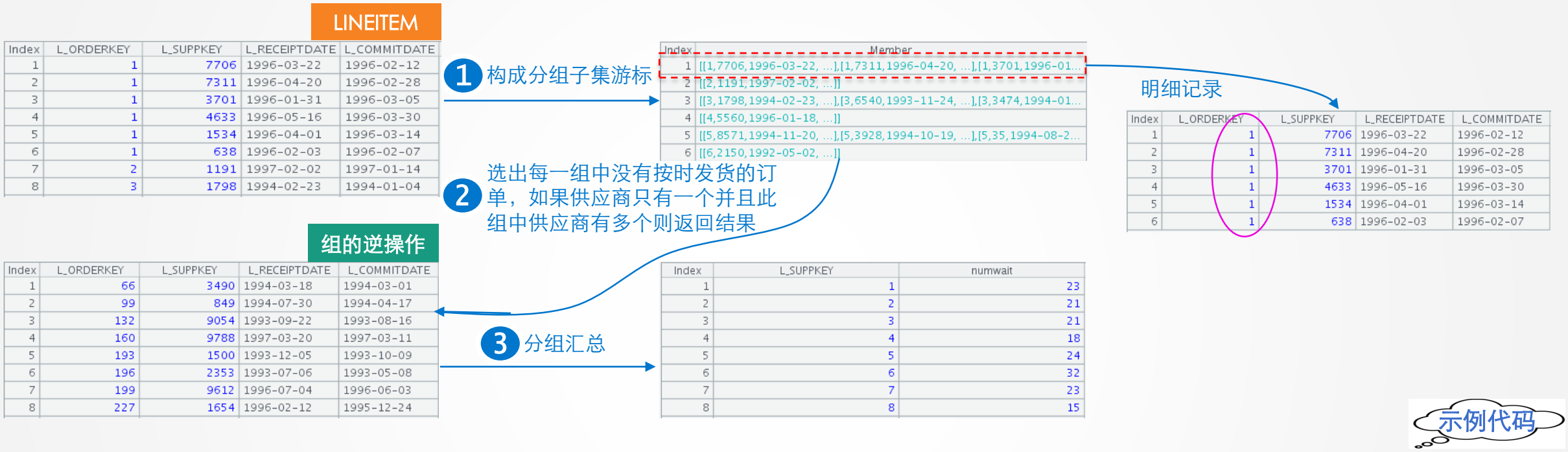
SQL

LINEITEM
L_ORDERKEY
L_LINENUMBER
L_SUPPKEY
L_COMMITDATE
...

一个订单对应 多条LINEITEM 的记录，这些记录的 L_ORDERKEY 相同且连续存储

优化思路：为找出有多个供应商供货并且有且仅有一个供应商没有按时交货的订单，因为数据是按订单顺序存放的，这样可以按订单有序分组，循环每组订单判断是否有未按时交货的订单项，是否有多个供货商，并且是否只有一个供应商没有按时交货！

同表关联，EXISTS 非等值条件



LINEITEM

Index	L_ORDERKEY	L_SUPPKEY	L_RECEIPTDATE	L_COMMITDATE
1	1	7706	1996-03-22	1996-02-12
2	1	7311	1996-04-20	1996-02-28
3	1	3701	1996-01-31	1996-03-05
4	1	4633	1996-05-16	1996-03-30
5	1	1534	1996-04-01	1996-03-14
6	1	638	1996-02-03	1996-02-07
7	2	1191	1997-02-02	1997-01-14
8	3	1798	1994-02-23	1994-01-04

Index	Member
1	[[1,7706,1996-03-22, ...],[1,7311,1996-04-20, ...],[1,3701,1996-01...
2	[[2,1191,1997-02-02, ...]]
3	[[3,1798,1994-02-23, ...],[3,6540,1993-11-24, ...],[3,3474,1994-01...
4	[[4,5560,1996-01-18, ...]]
5	[[5,8571,1994-11-20, ...],[5,3928,1994-10-19, ...],[5,35,1994-08-2...
6	[[6,2150,1992-05-02, ...]]

明细记录

Index	L_ORDERKEY	L_SUPPKEY	L_RECEIPTDATE	L_COMMITDATE
1	1	7706	1996-03-22	1996-02-12
2	1	7311	1996-04-20	1996-02-28
3	1	3701	1996-01-31	1996-03-05
4	1	4633	1996-05-16	1996-03-30
5	1	1534	1996-04-01	1996-03-14
6	1	638	1996-02-03	1996-02-07

组的逆操作

Index	L_ORDERKEY	L_SUPPKEY	L_RECEIPTDATE	L_COMMITDATE
1	66	3490	1994-03-18	1994-03-01
2	99	849	1994-07-30	1994-04-17
3	132	9054	1993-09-22	1993-08-16
4	160	9788	1997-03-20	1997-03-11
5	193	1500	1993-12-05	1993-10-09
6	196	2353	1993-07-06	1993-05-08
7	199	9612	1996-07-04	1996-06-03
8	227	1654	1996-02-12	1995-12-24

Index	L_SUPPKEY	numwait
1	1	23
2	2	21
3	3	21
4	4	18
5	5	24
6	6	32
7	7	23
8	8	15

示例代码

	A	B
1	=file("LINEITEM.btx").cursor@b(L_ORDERKEY,L_SUPPKEY,L_RECEIPTDATE,L_COMMITDATE)	/在LINEITEM表所对应的集文件上定义游标，参数为选出列
2	=A1.group(L_ORDERKEY)	/对有序游标附加分组，结果为排列构成的游标
3	=A2.conj((t=~.select(L_RECEIPTDATE>L_COMMITDATE),if(t.len()>0&&t.select@1(t(1).L_SUPPKEY!=L_SUPPKEY)==null&&~.select@1(t(1).L_SUPPKEY!=L_SUPPKEY)!= null,t,null)))	/选出每一组中未按时发货的订单给临时变量t，如果t长度大于0并且t中的供应商只有一个并且此组中供应商有多个则返回t，否则返回null，conj相当于group的逆操作
4	=A3.groups@u(L_SUPPKEY;count(1):numwait)	/对游标计算分组得到最终结果

子查询转换成连接 – 总结

用子查询描述的 IN 都可以改用EXISTS，等值 EXISTS 本质上是做连接，对于翻译 select * from A where exists (select * from B where …) 样式的 SQL，要弄清楚下列特征：

关联字段是否是各表的主键或者逻辑主键?

A、B表的规模，执行其它过滤条件后是否能载入内存?

如果都不能装入内存则要考察两个表是否按关联字段有序?

优化思路：

如果有一个表能载入内存则可用内存连接方法，相关的SPL函数有 cs.switch()、cs.join()，选项 @i、@d 分别对应 exists 和 not exists

子查询要求按关联字段值唯一，如果不是逻辑主键则要先去重，可用 A.groups()去重

如果两表都大不能载入内存则要考察两个表是否按关联字段有序，如果无序可以用 cs.sortx() 排序，有序的两表可以用 joinx() 做连接

创新技术
推动应用进步！


各设备故障分析
近7天设备的总故障率
近7天
近1天
近6小时
1.53%
0.95%
2.40%
近7天故障情况
全年故障综合分析
近7天故障次数前5的设备
服务器CPU使用率
今日
昨日
今天硬盘情况