龙芯 2E 体系结构
之多媒体指令

CurrentVersion: 0.4
Date: 2007-04-04
Author: comcat <jiankemeng@gmail.com>

版本历史

版本状态	作 者	参与者	起止日期	备注
0.1	comcat		06-12-06	完成草稿
0.2	comcat		06-12-20	正式版发布
0.3	comcat		07-01-22	修正 3 处描述错误
0.4	comcat		07-04-02	修正 biadd 和 fadd 的描述
0.5	comcat		07-04-04	修正 pshufh 的描述

A. 概述

龙芯 2E 多媒体指令支持基于字节、半字、字以及双字整数的并行操作。这个与 Intel 的 MMX 很类似。事实上龙芯的多媒体指令吸取了 MMX、SSE 的优秀思想，并作了一些扩充。可惜目前龙芯仅支持对整数的并行操作，不支持 SIMD 浮点模型，期待龙芯的后序系列在多媒体方面能有大幅的提高。

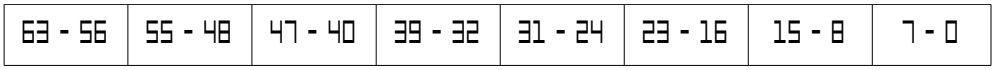
另龙芯实现了双单精度浮点指令（Paired-single, PS),可以同时对 2 个单精度数的浮点操作，庶几可以弥补一些遗憾。

龙芯 2E 多媒体指令直接使用 FPU 的浮点寄存器（64 位，32 个）作为多媒体寄存器。

龙芯 2E 多媒体指令的操作对象为 64 位，可以分割成 8*8, 16*4, 32*2, 64*1。如果每个单元为 8 位（称为 Packed byte）则有 8 个这样的单元；若每个单元为 32 位（Packed word）则有 2 个这样的单元。而每条指令可以同时对这几个单元进行操作（SIMD）。

这个在图像处理中很有用，可以同时处理 8 个像素（8 位色，RGB，每像素一个字节）。

Packed Byte



Packed Half-word

Packed Word

Packed Doubleword

注：龙芯体系结构下定义每个字(word)为 32 位，注意与 x86 的差别。

B. 龙芯多媒体指令介绍

注意：因为目前尚无公开的龙芯多媒体指令文档，以下属我分析，未经一一验证，大部分经验证、测试的指令会指出。

本文所有测试程序置于 http://people.openrays.org/~comcat/

先给个指令列表吧，该列表从龙芯开发者为汇编器 as 提供的补丁中取出。

```
punpcklbh/punpcklhw/punpcklwd      -- 解包指令
punpckhbh/punpckhhw/punpckhwd

packsshb/packsswh                  -- 打包指令
packushb

pcmpgtb/pcmpgth/pcmpgtw            -- 比较赋值指令
pcmpeqb/pcmpeqh/pcmpeqw
pmaxsh
pmaxub
pminsh
pminub

paddb/paddh/paddw/paddd            -- 加法指令
paddsb/paddsh
paddusb/paddush

psubb/psubh/psubw/psubd            -- 减法指令
psubsb/psubsh
psubusb/psubush

pmullh                             -- 乘和乘加指令
pmulhh
pmuluw
pmulhuh
pmaddhw

pandn                              -- 逻辑指令

psrlh/psrlw                        -- 移位指令
psrah/psraw
psllh/psllw

pavgb/pavgh
pshufh
```

```
pmovmskb
pextrh

pinsrh_0/pinsrh_1/pinsrh_2/pinsrh_3

pasubub                                 -- 减取绝对值指令
biadd

for                                     -- 逻辑指令
fxor
fnor
fand

fsrl                                    -- 移位指令
fdsrl
fsra
fdsra
fsll
fdsll

fadd                                    -- 加减法指令
faddu
fdadd
fsub
fsubu
fdsub

fseq                                    -- 比较赋值指令
fseq1
fslt
fsltu
fsle
fsleu
```

上述指令中，黑色的是可以对应于 MMX 指令，故而可以参考 MMX 的文档，绿色的对应 SSE 指令，红色的则为龙芯自定义的指令。

可以看到多媒体指令的后缀一般为：

```
b -- Byte   8 位
h -- Half-word 16 位
w -- Word       32 位
d -- Double-word 64 位
u -- Unsigned
s -- Saturation 表示饱和算法，参见本文档对 packssb 的描述.
有时 s 也表示 Signed
```

了解上述缩写的含义，有助于分析、记忆。

本文档称通用寄存器为 GPR，多媒体寄存器为 MMR，浮点寄存器为 FPR，浮点控制寄存器为 FCR.

龙芯体系结构下，多媒体指令由 FPU 执行，亦使用 FPU 的浮点寄存器作为多媒体寄存器，而在整个体系中 FPU 是作为 1 号协处理器出现，因此 MMR 与 GPR 之间的数据传送需要使用 dmtc1，dmfc1 这类指令. 而 MMR 与内存之间的数据交换则要使用 ldc1，sdc1 这类指令. 注意，用于 GPR 的指令不能施加于 MMR 上，如果要用的话，先要把 MMR 中的数据移到 GPR 中，运算完了再移回，对于一些常用的操作这个会影响效率，因而龙芯 2E 引入了可以直接施加于 MMR 上的常用操作(上文中的红色指令)，来提高多媒体的性能.

以下所述 **DEST，SRC2，SRC1** 均为 **64** 位多媒体寄存器

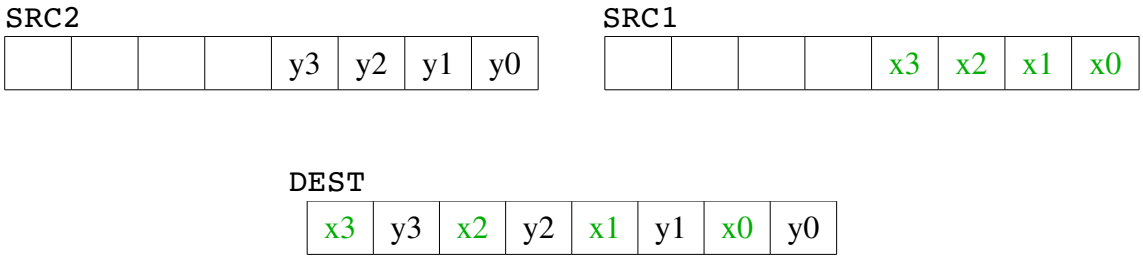
1. punpcklbh/punpcklhw/punpcklwd (Unpack Low data)

对包数据进行取低位解包

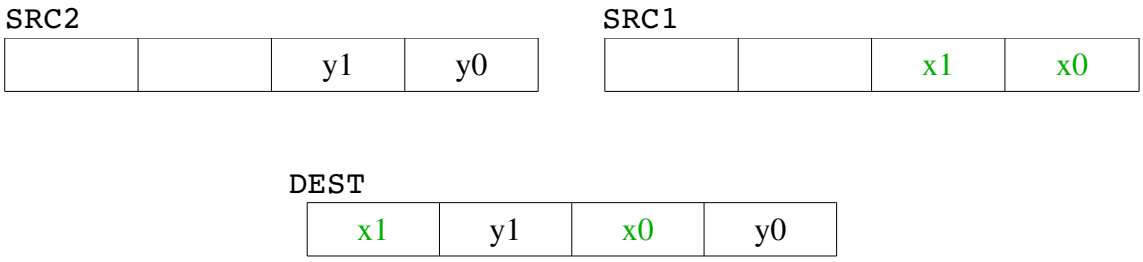
```
punpcklbh DEST, SRC2, SRC1    (Byte to Half-word)
punpcklhw DEST, SRC2, SRC1    (Half-word to Word)
punpcklwd DEST, SRC2, SRC1    (Word to Double-word)
```

DEST, SRC2, SRC1 均为 64 位浮点寄存器

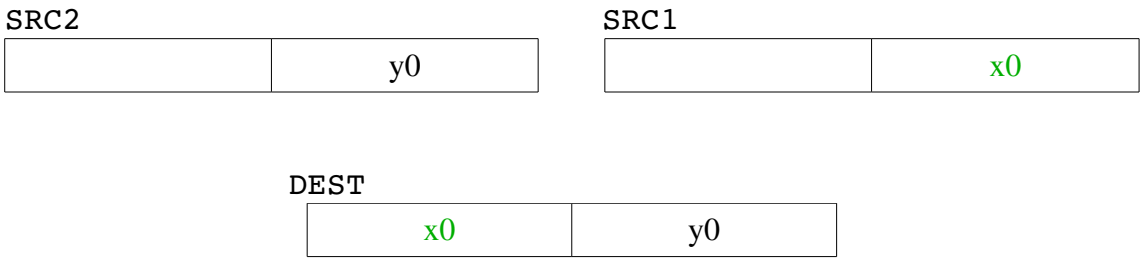
punpcklbh DEST, SRC2, SRC1 示意图:



punpcklhw DEST, SRC2, SRC1 示意图:



punpcklwd DEST, SRC2, SRC1 示意图:



Examples:

如将 f2 中的 8 位扩张到 16 位：

```
f2 值为 0x0000 0000 aa55 bbaa; f0 值为 0x0000 0000 0000 0000
punpcklbh $f2, $f2, $f0
```

执行后 f0 的值为： 0x00aa 0055 00bb 00aa

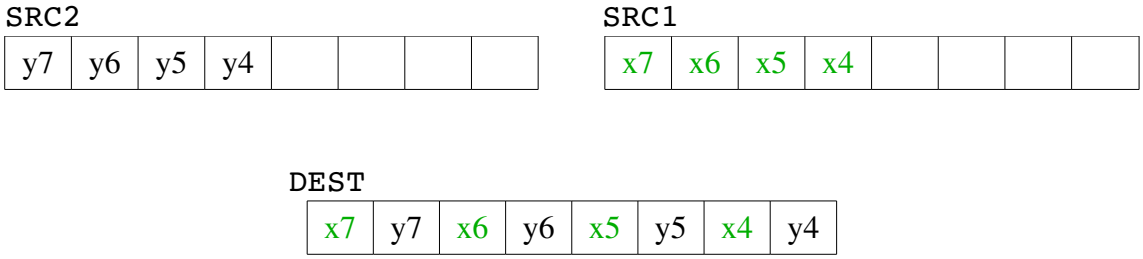
```
src1 data is: 0000, 0000, 0000, 0000
src2 data is: 0102, 001f, 85fd, aa82

punpcklbh src2, src1 result is: 0085, 00fd, 00aa, 0082
punpcklhw src2, src1 result is: 0000, 85fd, 0000, aa82
```

2. punpckhbh/punpckhwd/punpckhhw - Unpack High data

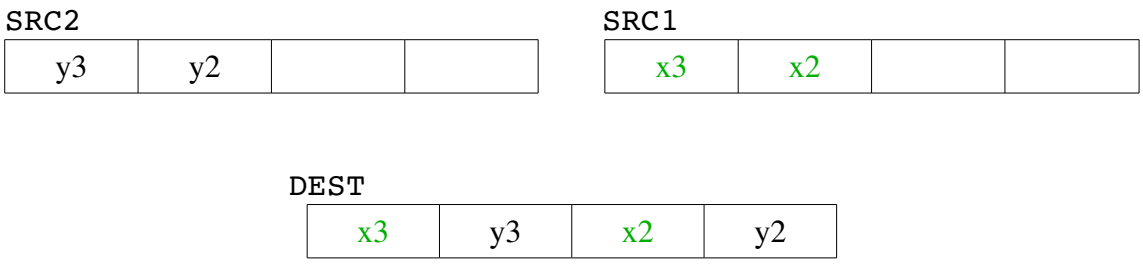
对包数据进行取高位解包

```
punpckhbh DEST, SRC2, SRC1    (Byte to Half-word)
punpckhhw DEST, SRC2, SRC1    (Half-word to Word)
punpckhwd DEST, SRC2, SRC1    (Word to Double-word)
```

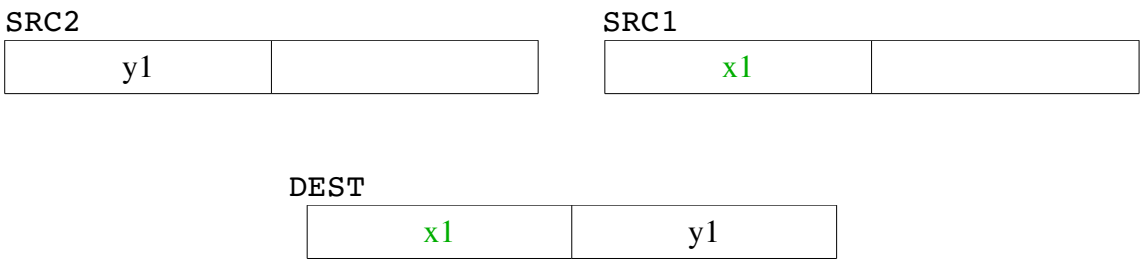
`punpckhbh DEST, SRC2, SRC1` 示意图：



`punpckhhw DEST, SRC2, SRC1` 示意图：



`punpckhwd DEST, SRC2, SRC1` 示意图：

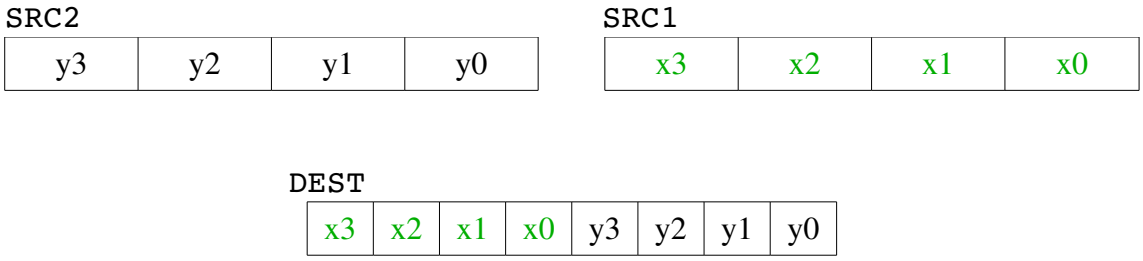


3. packsshb/packsswh - Pack with Signed Saturation

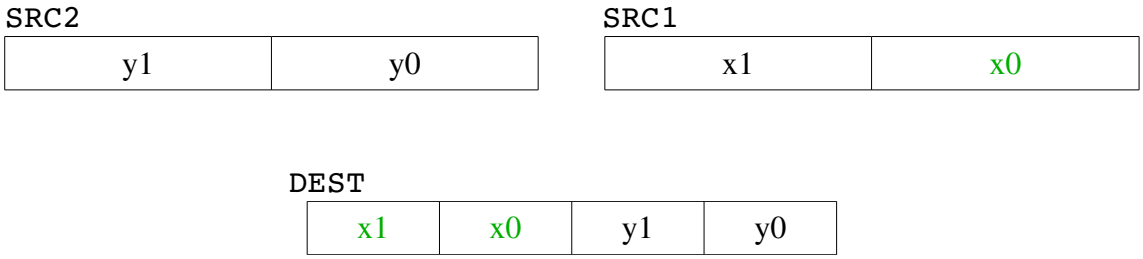
对有符号数据使用饱和算法打包

```
packsshb DEST, SRC2, SRC1     (Half-word to Byte)
packsswh DEST, SRC2, SRC1     (Word to Half-word)
```

packsshb DEST, SRC2, SRC1 示意图:



packsswh DEST, SRC2, SRC1 示意图:



packsshb 将 16 位打包入 8 位中，使用 8 位有符号饱和算法

packsswh 将 32 位打包入 16 位中，使用 16 位有符号饱和算法

关于饱和算法(**Saturation Algorithm**):

在计算机系统中参与运算的单元，字长固定，若运算结果超过固定字长则会“溢出”，如 8 位机上，1000 0000 与 1100 0000 相加，其结果的第 9 位进位就会舍去。在多媒体处理中，采用这种方法处理溢出是不行的。比如对一副 RGB 24 位图像进行加亮运算，每个颜色值的运算结果必须在 0~255 之间，如果一个像素的颜色值为 0xffffff ，每种色彩再加 1 的话，按通常处理溢出的方法，结果为 0x000000 ，就是这个像素的颜色一下子从白色变成了黑色，这是与我们想要的结果是不相称的。故而我们会用如下语句来处理溢出的情况：

```
if(G > 255)
    G = 255;
else if(G < 0)
    G = 0;
```

对 R，B 的处理与此同。

在多媒体信息的处理中，需要大量用到这种算法，即：对产生溢出的运算将累积至固定单元可容纳的最大（或最小）值。

如上面的 packsshb 指令，就会使用 8 位有符号饱和，其范围为：-128~127 之间，亦有无符号饱和，如上面的颜色运算就会用到 8 位无符号饱和，其范围为 0~255。即当结果超过上限（上溢）时取固定单元能表示的最大值，当结果超过下限（下溢）时取固定单元能表示的最小值。

使用这样的多媒体指令，就无需那一堆判断语句，大大提高处理的效率。

Examples:

```
src1: 0x0000 7eff 00ff ff01
src2: 0x0102 001f 85fd aa82
```

packsshb dest, src2, src1 的结果就为： 0x007f 7f80 7f1f 8080

注意系统中使用补码表示有符号整数，即 0xff 为-1，0x80 为-128，0x7f 为 127

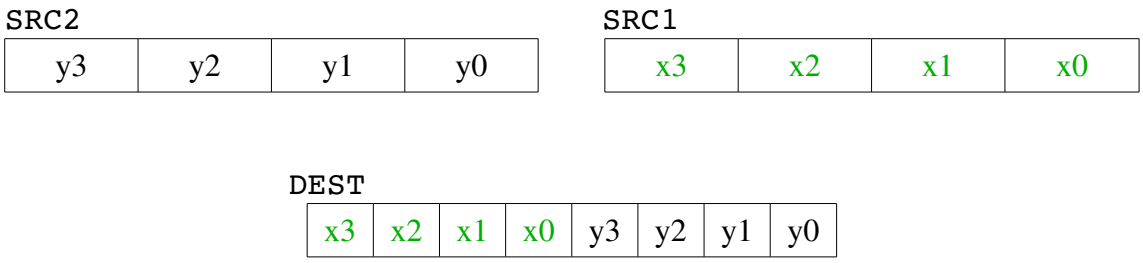
4. packushb - Pack with Unsigned Saturation

对无符号数据使用饱和算法打包

`packushb DEST, SRC2, SRC1 (Half-word to Byte)`

将 16 位打包入 8 位中，使用 8 位无符号饱和算法（即饱和范围为：0~255）

`packushb DEST, SRC2, SRC1` 示意图：



5. pcmpeqb/pcmpeqh/pcmpeqw - Compare Packed Data for Equal

对包数据进行比较，相等则包内的所有位置 1，否则置 0

```
pcmpeqb DEST, SRC2, SRC1    (Packed Byte)
pcmpeqh DEST, SRC2, SRC1    (Packed Half-word)
pcmpeqw DEST, SRC2, SRC1    (Packed Word)
```

pcmpeqh DEST, SRC2, SRC1 操作示意图：

SRC1

0xFE00	0xa0a0	0x8000	0x55aa

SRC2

0xFE00	0xaa55	0x0000	0x55aa

Equal Not equal Not equal Equal

DEST

0xFFFF	0x0000	0x0000	0xFFFF

使用该指令，很容易计算一幅图像的屏蔽图。即：颜色相同的地方为 1，不同的地方为 0

Tips:

将寄存器 f0 的值置为 0xffff ffff ffff ffff

```
pcmpeqw $f0, $f0, $f0
```

Example:

设有两个图，A 图是人，B 图是场景，现要将人写进这个场景中，如果使用一般的指令则会有如下过程：

```
if (图 A 当前像素颜色 is 屏蔽色) then
  图 D <-- 图 B 对应的像素颜色
else
  图 D <-- 图 A 对应的像素颜色
```

屏蔽色显示为透明。

这样就得一个像素一个像素的算，还有大量的判断，运行效率会很低，因为一旦 CPU 转移预测失败，流水线后面的指令都得清空（除了位于转移延迟槽中的指令）。

如果使用多媒体指令来实现，可以使用 pcmpeqb 同时将 A 图的 8 个像素（8 位色）与屏蔽色比较，是屏蔽色的像素全置 1，否则置 0，这样就获得了图 A 的屏蔽图，将其和图 B 作“与”运算就将场景要写入图 A 的像素提取出来了。这种处理方式避免了大量的条件判断语句，大大提高了运算效率。

6. pcmpgtb/pcmpgth/pcmpgtw - Compare Packed Signed Integers for Greater Than

对有符号包数据进行比较，大于则包内的所有位置 1，否则置 0

```
pcmpgtb DEST, SRC2, SRC1    (Packed Byte)
pcmpgth DEST, SRC2, SRC1    (Packed Half-word)
pcmpgtw DEST, SRC2, SRC1    (Packed Word)
```

pcmpgth DEST, SRC2, SRC1 操作示意图：

SRC1

0xFE00	0xa0a0	0x8000	0x55aa

SRC2

0xFE00	0xaa55	0x0000	0x55aa

Not Greater Greater Greater Not Greater

DEST

0x0000	0xFFFF	0xFFFF	0x0000

Examples:

```
src1: 0x0000 7eff 00ff ff01
src2: 0x0102 001f 85fd aa82
```

pcmpgth dest, src2, src1 结果为: 0xffff 0000 0000 0000

7. paddb/paddh/paddw/paddd - Add Packed Integers

对包数据同时相加

```
paddb DEST, SRC2, SRC1  (Packed Byte)
paddh DEST, SRC2, SRC1  (Packed Half-word)
paddw DEST, SRC2, SRC1  (Packed Word)
paddd DEST, SRC2, SRC1  (Packed Double-word)
```

`paddh DEST, SRC2, SRC1` 操作示意图（以半字 16 位为一个包数据）：

SRC1

x3	x2	x1	x0

SRC2

y3	y2	y1	y0

DEST

x3+y3	x2+y2	x1+y1	x0+y0

其余指令，操作类似，只是包数据的位长不一而已。

8. paddsb/paddsh - Add Packed Signed Integers with Signed Saturation

对有符号包数据进行有符号饱和相加

```
paddsb DEST, SRC2, SRC1
paddsh DEST, SRC2, SRC1
```

paddsh DEST, SRC2, SRC1 操作示意图（以半字 16 位为一个包数据）：

SRC1

x3	x2	x1	x0

SRC2

y3	y2	y1	y0

DEST

x3+y3	x2+y2	x1+y1	x0+y0

每个 16 位的包数据的结果范围为：-2^15 ~ 2^15-1，结果上溢取最大值，下溢取最小值。

paddsb 操作类似，只是包数据位长为 8 位，结果范围为：-2^7 ~ 2^7-1

10. paddusb/paddush - Add Packed Unsigned Integers with Unsigned Saturation

对无符号包数据进行无符号饱和相加

```
paddusb DEST, SRC2, SRC1
paddush DEST, SRC2, SRC1
```

`paddush DEST, SRC2, SRC1` 操作示意图（以半字 16 位为一个包数据）：

SRC1

x3	x2	x1	x0

SRC2

y3	y2	y1	y0

DEST

x3+y3	x2+y2	x1+y1	x0+y0

每个 16 位的包数据的结果范围为：0 ~ 2^16-1，结果上溢取最大值，下溢取最小值。

`paddusb` 操作类似，只是包数据位长为 8 位，结果范围为：0 ~ 2^8-1

11. psubb/psubh/psubw/psubd - Subtract Packed Integers

对包数据同时相减

```
psubb DEST, SRC2, SRC1  (Packed Byte)
psubh DEST, SRC2, SRC1  (Packed Half-word)
psubw DEST, SRC2, SRC1  (Packed Word)
psubd DEST, SRC2, SRC1  (Packed Double-word)
```

`psubh DEST, SRC2, SRC1` 操作示意图（以半字 16 位为一个包数据）：

SRC1

x3	x2	x1	x0

SRC2

y3	y2	y1	y0

DEST

y3-x3	y2-x2	y1-x1	y0-x0

其余指令，操作类似，只是包数据的位长不一而已。

12. psubsb/psubsh - Subtract Packed Signed Integers with Signed Saturation

对有符号包数据进行有符号饱和相减

```
psubsb DEST, SRC2, SRC1
psubsh DEST, SRC2, SRC1
```

`psubsh DEST, SRC2, SRC1` 操作示意图（以半字 16 位为一个包数据）：

SRC1

x3	x2	x1	x0

SRC2

y3	y2	y1	y0

DEST

y3-x3	y2-x2	y1-x1	y0-x0

每个 16 位的包数据的结果范围为：`-2^15 ~ 2^15-1`，结果上溢取最大值，下溢取最小值。

`psubsb` 操作类似，只是包数据位长为 8 位，结果范围为：`-2^7 ~ 2^7-1`

13. psubusb/psubush - Subtract Packed Unsigned Integers with Usigned Saturation

对无符号包数据进行无符号饱和相减

```
psubusb DEST, SRC2, SRC1    (Packed Byte)
psubush DEST, SRC2, SRC1    (Packed Half-word)
```

psubush DEST, SRC2, SRC1 操作示意图（以半字 16 位为一个包数据）：

SRC1

x3	x2	x1	x0

SRC2

y3	y2	y1	y0

DEST

y3-x3	y2-x2	y1-x1	y0-x0

每个 16 位的包数据的结果范围为：0 ~ 2^16-1，结果上溢取最大值，下溢取最小值。

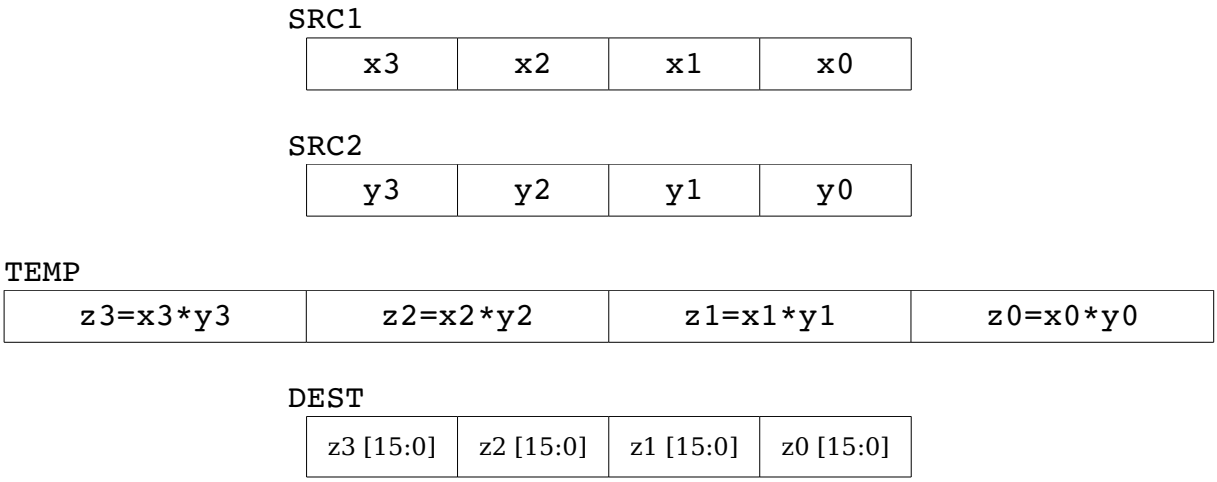
psubusb 操作类似，只是包数据位长为 8 位，结果范围为：0 ~ 2^8-1

14. pmullh - Multiply Packed Signed Integers and Store Low Result

对有符号半字包数据进行乘运算，取结果的低位

```
pmullh DEST, SRC2, SRC1   (Packed Half-word)
```

操作示意图（以半字 16 位为一个包数据）：



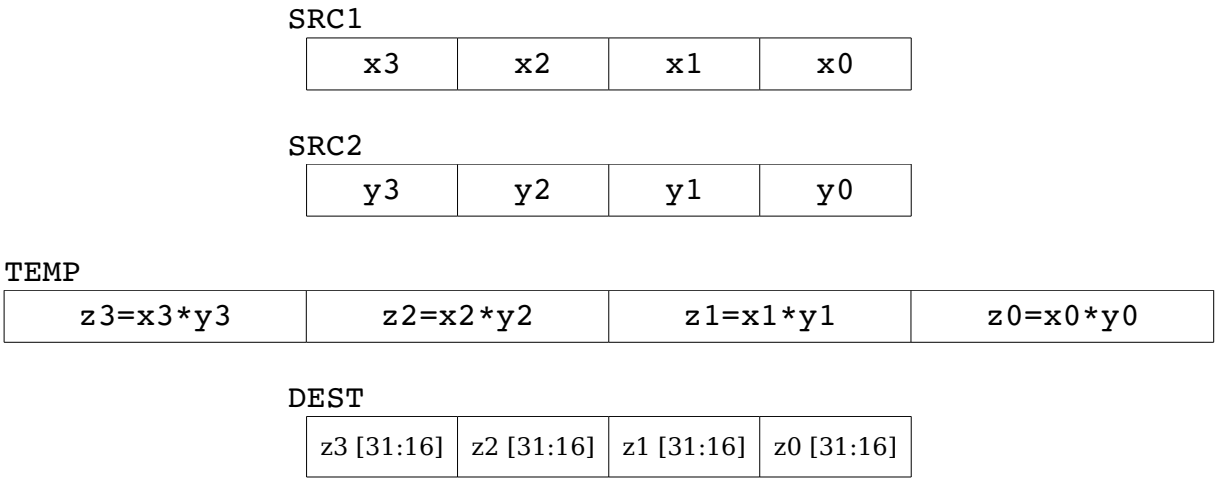

```
TEMP0[31:0] = SRC2[15:0] * SRC1[15:0]     （有符号相乘）
TEMP1[31:0] = SRC2[31:16] * SRC1[31:16]
TEMP2[31:0] = SRC2[47:32] * SRC1[47:32]
TEMP3[31:0] = SRC2[63:48] * SRC1[63:48]

DEST[15:0] = TEMP0[15:0]
DEST[31:16] = TEMP1[15:0]
DEST[47:32] = TEMP2[15:0]
DEST[63:48] = TEMP3[15:0]
```

15. pmulhh - Multiply Packed Signed Integers and Store High Result

对有符号半字包数据进行乘运算，取结果的高位

```
pmulhh DEST, SRC2, SRC1   (Packed Half-word)
```

操作示意图（以半字 16 位为一个包数据）：



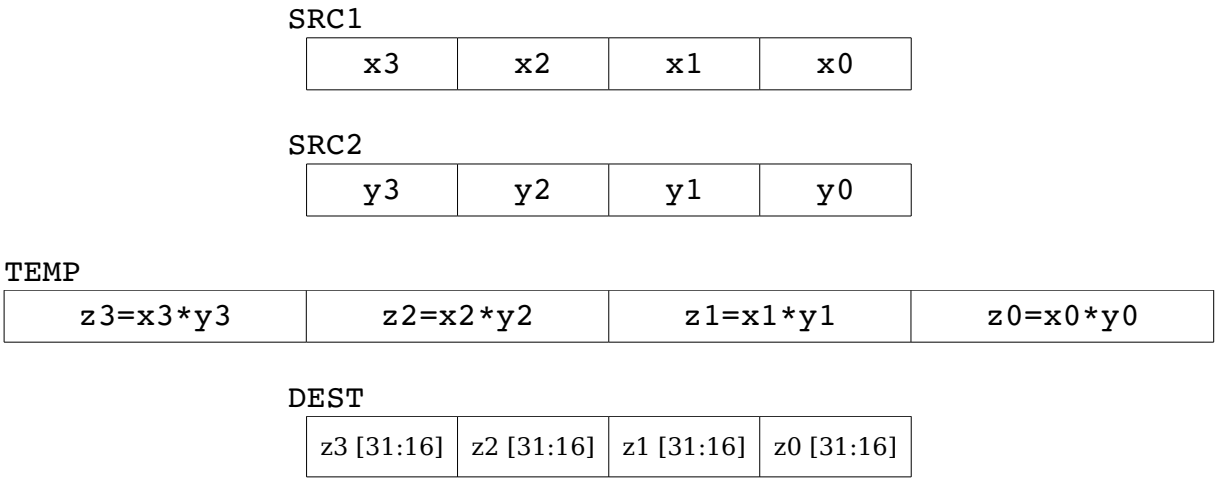

```
TEMP0[31:0] = SRC2[15:0] * SRC1[15:0]     （有符号相乘）
TEMP1[31:0] = SRC2[31:16] * SRC1[31:16]
TEMP2[31:0] = SRC2[47:32] * SRC1[47:32]
TEMP3[31:0] = SRC2[63:48] * SRC1[63:48]

DEST[15:0] = TEMP0[31:16]
DEST[31:16] = TEMP1[31:16]
DEST[47:32] = TEMP2[31:16]
DEST[63:48] = TEMP3[31:16]
```

16. pmulhuh - Multiply Packed Unsigned Integers and Store High Result

对无符号半字包数据进行乘运算，取结果的高位

```
pmulhuh DEST, SRC2, SRC1    (Packed Half-word)
```

操作示意图（以半字 16 位为一个包数据）：



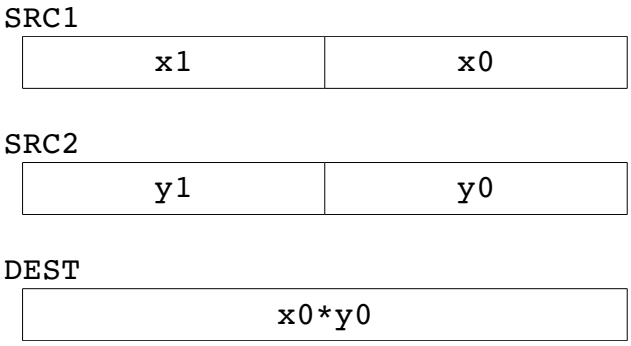

```
TEMP0[31:0] = SRC2[15:0] * SRC1[15:0]     （无符号相乘）
TEMP1[31:0] = SRC2[31:16] * SRC1[31:16]
TEMP2[31:0] = SRC2[47:32] * SRC1[47:32]
TEMP3[31:0] = SRC2[63:48] * SRC1[63:48]

DEST[15:0] = TEMP0[31:16]
DEST[31:16] = TEMP1[31:16]
DEST[47:32] = TEMP2[31:16]
DEST[63:48] = TEMP3[31:16]
```

17. pmuluw - Multiply Packed Unsigned Word Integers

对无符号字包数据进行乘运算

```
pmuluw DEST, SRC2, SRC1
```

操作示意图（以字 32 位为一个包数据）：




```
DEST[63:0] = SRC2[31:0] * SRC1[31:0]
```

Example:

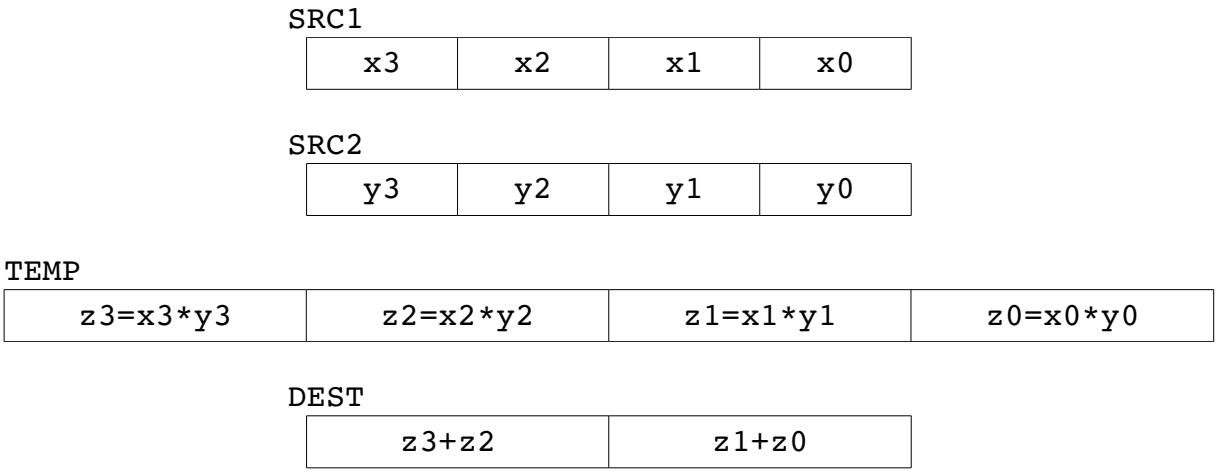
```
  src1 : 0x8000 00ff 0000 0010
  src2 : 0x8000 001f 0000 0002

  pmuluw dest, src2, src1 结果为: 0x0000 0000 0000 0020

-------------------------------------

  src1 : 0x0000 0000 8000 0000
  src2 : 0x0000 0000 0000 0002

  pmuluw dest, src2, src1 结果为: 0x0000 0001 0000 0000
```

18. pmaddhw - Multiply and Added Packed Integers

对有符号半字包数据做乘运算，结果暂存于 32 位字包中，后对暂存的字包数据进行两两加运算

```
pmaddhw DEST, SRC2, SRC1
```

操作示意图（以半字 16 位为一个包数据）：




```
DEST[31:0] = ( SRC2[31:16]*SRC1[31:16] + SRC2[15:0]*SRC1[15:0] )
DEST[63:32] = ( SRC2[63:48]*SRC1[63:48] + SRC2[47:32]*SRC1[47:32] )
```

Example:

```
src1 : 0x0007 0005 0003 0001
src2 : 0x0008 0006 0004 0002

pmaddhw dest, src2, src1 结果为: 0x0000 0056 0000 000e
```

19. pandn - Logical AND NOT

按位与或

```
pandn DEST, SRC2, SRC1
```

操作：

```
DEST = ((NOT SRC2) AND SRC1)
```

Example:

```
src1: 0x0000 7eff 00ff ff01
src2: 0x0102 001f 85fd aa82

pandn dest, src2, src1 的结果为: 0000, 7ee0, 0002, 5501
```

20. psrlh/psrlw - Shift Packed Data Right Logical

对包数据分别逻辑右移

```
psrlh DEST, SRC2, SRC1
psrlw DEST, SRC2, SRC1
```

`psrlh DEST, SRC2, SRC1` 操作示意图:

SRC2

y3	y2	y1	y0

DEST

y3>>SRC1	y2>>SRC1	y1>>SRC1	y0>>SRC1

`psrlw DEST, SRC2, SRC1` 操作示意图:

SRC2

y1	y0

DEST

y1>>SRC1	y0>>SRC1

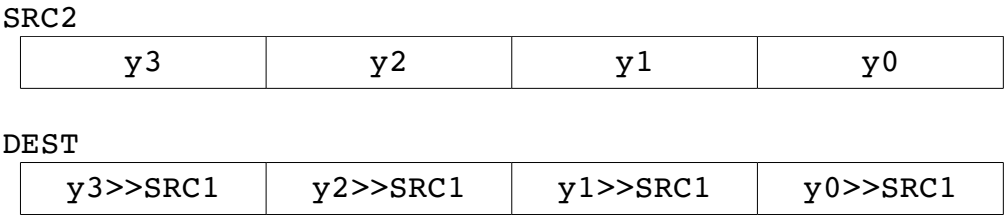
逻辑右移，左边补零。

21. psrah/psraw - Shift Packed Data Right Arithmetic

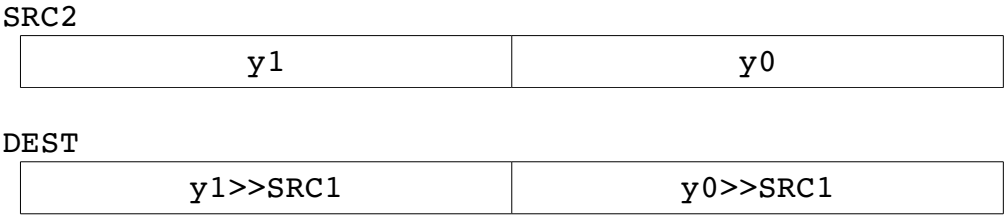
对包数据分别算术右移

```
psrah DEST, SRC2, SRC1
psraw DEST, SRC2, SRC1
```

`psrah DEST, SRC2, SRC1` 操作示意图：



`psraw DEST, SRC2, SRC1` 操作示意图：



算术右移，负数左边补 1，正数左边补 0

22. psllh/psllw - Shift Packed Data Left Logical

对包数据分别逻辑左移

```
psllh DEST, SRC2, SRC1
psllw DEST, SRC2, SRC1
```

`psllh DEST, SRC2, SRC1` 操作示意图：

SRC2

y3	y2	y1	y0

DEST

y3<<SRC1	y2<<SRC1	y1<<SRC1	y0<<SRC1

`psllw DEST, SRC2, SRC1` 操作示意图：

SRC2

y1	y0

DEST

y1<<SRC1	y0<<SRC1

逻辑左移，右边补零。

23. pmaxsh - Maximum of Packed Signed Half-word Integers

对有符号半字包数据进行比较，取较大的值

```
pmaxsh DEST, SRC2, SRC1
```

SRC1

x3	x2	x1	x0

SRC2

y3	y2	y1	y0

DEST

max(y3,x3)	max(y2,x2)	max(y1,x1)	max(y0,x0)

操作：

```
IF SRC2[15:0] > SRC1[15:0] THEN
  DEST[15:0] = SRC2[15:0]
ELSE
  DEST[15:0] = SRC1[15:0]
FI

(*repeat operation for 2nd and 3rd half-words in SRC1 and SRC2)

IF SRC2[63:48] > SRC1[63:48] THEN
  DEST[63:48] = SRC2[63:48]
ELSE
  DEST[63:48] = SRC1[63:48]
FI
```

24. pmaxub - Maximum of Packed Unsigned Byte Integers

对无符号字节包数据进行比较，取较大的值

```
pmaxub DEST, SRC2, SRC1
```

操作：

```
IF SRC2[7:0] > SRC1[7:0] THEN
  DEST[7:0] = SRC2[7:0]
ELSE
  DEST[7:0] = SRC1[7:0]
FI

(*repeat operation for 2nd through 7th bytes in SRC1 and SRC2)

IF SRC2[63:56] > SRC1[63:56] THEN
  DEST[63:56] = SRC2[63:56]
ELSE
  DEST[63:56] = SRC1[63:56]
FI
```

25. pminsh - Minimum of Packed Signed Half-word Integers

对有符号半字包数据进行比较，取较小的值

```
pminsh DEST, SRC2, SRC1
```

SRC1

x3	x2	x1	x0

SRC2

y3	y2	y1	y0

DEST

min(y3,x3)	min(y2,x2)	min(y1,x1)	min(y0,x0)

操作：

```
  IF SRC2[15:0] < SRC1[15:0] THEN
    DEST[15:0] = SRC2[15:0]
  ELSE
    DEST[15:0] = SRC1[15:0]
  FI

(*repeat operation for 2nd and 3rd half-words in SRC1 and SRC2)

  IF SRC2[63:48] < SRC1[63:48] THEN
    DEST[63:48] = SRC2[63:48]
  ELSE
    DEST[63:48] = SRC1[63:48]
  FI
```

26. pminub - Minimum of Packed Unsigned Byte Integers

对无符号字节包数据进行比较，取较小的值

```
pminub DEST, SRC2, SRC1
```

操作：

```
IF SRC2[7:0] < SRC1[7:0] THEN
  DEST[7:0] = SRC2[7:0]
ELSE
  DEST[7:0] = SRC1[7:0]
FI

(*repeat operation for 2nd through 7th bytes in SRC1 and SRC2)

IF SRC2[63:56] < SRC1[63:56] THEN
  DEST[63:56] = SRC2[63:56]
ELSE
  DEST[63:56] = SRC1[63:56]
FI
```

27. pavgb/pavgh - Average Packed Integers

对无符号包数据求平均值

```
pavgb DEST, SRC2, SRC1    (Packed Byte)
pavgh DEST, SRC2, SRC1    (Packed Half-word)
```

pavgb 操作:

```
DEST[7:0] = (SRC2[7:0] + SRC1[7:0] + 1) >> 1

(*repeat operation for 2nd through 7th bytes in SRC1 and SRC2)

DEST[63:56] = (SRC2[63:56] + SRC1[63:56] + 1) >> 1
```

pavgh 操作:

```
DEST[15:0] = (SRC2[15:0] + SRC1[15:0] + 1) >> 1

(*repeat operation for 2nd and 3rd bytes in SRC1 and SRC2)

DEST[63:48] = (SRC2[63:48] + SRC1[63:48] + 1) >> 1
```

Example:

```
src1 : 0x0100 ffff 00ff 0001
src2 : 0x0102 feff 00fd ffff

pavgb dest, src2, src1 结果为: 0x01 01 ff ff 00 fe 80 80

pavgh dest, src2, src1 结果为: 0x0101 ff7f 00fe 8000
```

28. pshufh - Shuffle Packed Half-words

对半字包数据进行交换

```
pshufh DEST, SRC2, SRC1   (Packed Half-word)
```

操作:

```
DEST[15:0]  = (SRC2 >> (SRC1[1:0] * 16))[15:0]
DEST[31:16] = (SRC2 >> (SRC1[3:2] * 16))[15:0]
DEST[47:32] = (SRC2 >> (SRC1[5:4] * 16))[15:0]
DEST[63:48] = (SRC2 >> (SRC1[7:6] * 16))[15:0]
```

Example:

```
src1 : 0xf4(11 11 01 00)
src2 : 0x0100 ffff 00ff aa55

pshufh dest, src2, src1 结果为: 0x0100 0100 00ff aa55

-------------------------------------------------------

src1 : 0x00(00 00 00 00)
src2 : 0xaadd

pshufh dest, src2, src1 结果为: 0xaadd aadd aadd aadd
```

Tips:

I. 将 f0 的值传给 f2

```
li      $13, 0xe4     (0xe4: 11 10 01 00)
dmtc1   $13, $f4
pshufh  $f2, $f0, $f4
```

II. 交换 f2 的高位字和低位字

```
li      $13, 0x4e     (0x4e: 01 00 11 10)
dmtc1   $13, $f0
pshufh  $f2, $f2, $f0
```

III. 将 f2 置为 0xaa55 aa55 aa55 aa55

```
fxor    $f0, $f0, $f0
li      $13, 0xaa55
dmtc1   $13, $f2
pshufh  $f2, $f2, $f0
```

IV. 将 f2 置为 0xFF00 FF00 FF00 FF00

```
pcmpeqw $f0, $f0, $f0   # $f0 = 0xffff ffff ffff ffff
fxor    $f4, $f4, $f4
punpcklbh $f2, $f4, $f0
```

V. 将 f4 置为 0x 00FF 00FF 00FF 00FF:

```
fxor      $f0, $f0, $f0     # 0x 0
pcmpeqw   $f2, $f2, $f2     # 0x FFFF FFFF FFFF FFFF
punpcklbh $f4, $f2, $f0     # 0x 00FF 00FF 00FF 00FF
```

29. pmovmskb - Move Byte Mask

```
pmovmskb DEST, SRC    (Packed Byte)
```

SRC, DEST 均为 64 位多媒体寄存器

操作：

```
DEST[0] = SRC[7]
DEST[1] = SRC[15]
DEST[2] = SRC[23]
DEST[3] = SRC[31]
DEST[4] = SRC[39]
DEST[5] = SRC[47]
DEST[6] = SRC[55]
DEST[7] = SRC[63]

DEST[63:8] = 0x0000 0000 0000 00
```

Example:

```
src : 0x0100 ffff 00ff aa55

pmovmskb dest, src 结果为: 0x0000 0000 0000 0036
```

30. pextrh - Extract Half-word

```
pextrh DEST, SRC2, SRC1
```

操作:

```
DEST[15:0] = (SRC2 >> (SRC1[1:0]*16))[15:0]

DEST[63:16] = 0x0000 0000 0000
```

Example:

```
src1 : 0x2
src2 : 0x0100 aa55 ffff 00ff

pextrh dest, src2, src1 结果为: 0x0000 0000 0000 aa55
```

31. pinsrh_0/pinsrh_1/pinsrh_2/pinsrh_3 - Insert Half-word

```
pinsrh_0 DEST, SRC2, SRC1     (Packed Half-word)
pinsrh_1 DEST, SRC2, SRC1     (Packed Half-word)
pinsrh_2 DEST, SRC2, SRC1     (Packed Half-word)
pinsrh_3 DEST, SRC2, SRC1     (Packed Half-word)
```

pinsrh_0 DEST, SRC2, SRC1 操作示意图:

SRC1

			x0

SRC2

y3	y2	y1	y0

DEST

y3	y2	y1	x0

pinsrh_1 DEST, SRC2, SRC1 操作示意图:

SRC1

			x0

SRC2

y3	y2	y1	y0

DEST

y3	y2	x0	y0

Example:

```
src1 : 0x55aa
src2 : 0x0100 ffff 00ff ff01

pinsrh_0 dest, src2, src1 结果为: 0x0100 ffff 00ff 55aa

pinsrh_1 dest, src2, src1 结果为: 0x0100 ffff 55aa ff01

pinsrh_2 dest, src2, src1 结果为: 0x0100 55aa 00ff ff01

pinsrh_3 dest, src2, src1 结果为: 0x55aa ffff 00ff ff01
```

以下为龙芯自定义指令

32. pasubub

对无符号字节包数据做减法运算，结果取绝对值

```
pasubub DEST, SRC2, SRC1
```

操作：

```
DEST[7:0] = ABS( SRC2[7:0] - SRC1[7:0] )    -- 结果取绝对值

(*repeat operation for 2nd through 7th bytes in SRC1 and SRC2)

DEST[63:56] = ABS( SRC2[63:56] - SRC1[63:56] )
```

Example:

```
src1 : 0x0002 8000 0003 0001
src2 : 0x0102 4000 0002 0002

pasubub dest, src2, src1 结果为: 0100 4000 0001 0001
```

33. biadd

```
biadd DEST, SRC
```

操作：

```
TEMP = SRC[63:56] + .. + SRC[23:16] + SRC[15:8] + SRC[7:0]
DEST[15:0] = TEMP
DEST[63:16] = 0x0000 0000 0000 00
```

Example:

```
src : 0x0000 4810 1020 0008
biadd dest, src 结果为: 0x0000 0000 0000 0090

src : 0x00c0 8000 0000 0004
biadd dest, src 结果为: 0x0000 0000 0000 0144

src : 0x0100 ffff 00ff aa55
biadd dest, src 结果为: 0x0000 0000 0000 03fd

src : 0xffff ffff ffff ffff
biadd dest, src 结果为: 0x0000 0000 0000 07f8 (0xff * 8 = 0x7f8)
```

可以看到该指令运算结果的最大值为 0x7f8

注：一般 pasubub 与 biadd 合用，等同于 x86 的 psadbh：

```
pasubub $f0, $f2, $f4
biadd   $f6, $f0
```

以下指令严格意义上来说，不能称作多媒体指令，只是为了方便操作位于多媒体寄存器中的数据而引入．实际上和操作通用寄存器中的数据指令相似．

34. for

按位与

```
for DEST, SRC2, SRC1
```

35. fxor

按位异或

```
fxor DEST, SRC2, SRC1
```

36. fnor

按位或非

```
fxor DEST, SRC2, SRC1
```

37. fand

按位与

```
fand DEST, SRC2, SRC1
```

Example:

```
src1 : 0x8102 fff0 00fd ff04

src2 : 0x0100 ffff 00ff ff01

for dest, src2, src1 结果为: 0x8102 ffff 00ff ff05
fxor dest, src2, src1 结果为: 0x8002 000f 0002 0005
fnor dest, src2, src1 结果为: 0x7efd 0000 ff00 00fa
fand dest, src2, src1 结果为: 0x0100 fff0 00fd ff00
```

38. fsrl

字数据逻辑右移，高位字填充 0

```
fsrl DEST, SRC2, SRC1
```

Example:

```
src1 : 0x0100 ffff 85ff ff01
src3 : 0x8

fsrl dest, src1, src3 结果为: 0x0000 0000 0085 ffff
```

39. fdsrl

双字逻辑右移

```
fdsrl DEST, SRC2, SRC1
```

Example:

```
src2 : 0x8102 0ff0 00fd ff04
src3 : 0x8

fdsrl dest, src2, src3 结果为: 0x0081 020f f000 fdff
```

40. fsra

低位字数据算术右移，高位字填充低位字的最高位(符号位)

```
fsra DEST, SRC2, SRC1
```

Example:

```
src1 : 0x0100 ffff 85ff ff01
src3 : 0x8

fsra dest, src1, src3 结果为: 0xffff ffff ff85 ffff

若 src1 : 0x0100 ffff 75ff ff01
则 fsra dest, src1, src3 结果为: 0x0000 0000 0075 ffff
```

41. fdsra

双字算术右移

```
fdsra DEST, SRC2, SRC1
```

Example:

```
src1 : 0x0100 ffff 85ff ff01
src3 : 0x8

fdsra dest, src2, src3 结果为: 0xff81 020f f000 fdff
```

42. fsll

低位字数据逻辑左移，高位字填充低位字移位后的最高位

```
fsll DEST, SRC2, SRC1
```

Example:

```
src1 : 0x0100 ffff 754f ff01
src2 : 0x8102 0ff0 00a7 ff04
src3 : 0x8

fsll dest, src1, src3 结果为: 0x0000 0000 4fff 0100
fsll dest, src2, src3 结果为: 0xffff ffff a7ff 0400

若 src3 : 0xc, 则:
fsll dest, src1, src3 结果为: 0xffff ffff fff0 1000
fsll dest, src2, src3 结果为: 0x0000 0000 7ff0 4000
```

43. fdsll

双字逻辑左移

```
fdsll DEST, SRC2, SRC1
```

Example:

```
src1 : 0x0100 ffff 75af ff01
src2 : 0x8102 0ff0 00ad ff04
src3 : 0x8

fdsll dest, src1, src3 结果为: 0x00ff ff75 afff 0100
fdsll dest, src2, src3 结果为: 0x020f f000 adff 0400
```

44. fadd

低位(31:0)字数据加

```
fadd DEST, SRC2, SRC1
```

指令有使用要特别注意，见下页 **Example** 的描述

操作：

```
DEST[31:0] = SRC2[31:0] + SRC1[31:0]
```

45. faddu

无符号低位字数据加，高位字填充相加结果的最高位

```
faddu DEST, SRC2, SRC1
```

操作：

```
DEST[31:0] = SRC2[31:0] + SRC1[31:0]
DEST[63:32] = DEST[31] ... DEST[31]   # 高位字填充相加结果的最高位
```

46. fdadd

双字数据加

```
fdadd DEST, SRC2, SRC1
```

操作：

```
DEST[63:0] = SRC2[63:0] - SRC1[63:0]
```

Example:

```
src1 : 0x0000 00ff ffff fffe
src2 : 0x0000 0001 0000 0004

fadd dest, src2, src1  结果为: 0x0000 0000 0000 0002
faddu dest, src2, src1 结果为: 0x0000 0000 0000 0002 # 溢出
fdadd dest, src2, src1 结果为: 0x0000 0101 0000 0002

-----------------------------------------

src1 : 0x0000 0000 8fff fffe
src2 : 0x0000 0000 0000 0001

faddu dest, src2, src1 结果为: 0xffff ffff 8fff ffff
fdadd dest, src2, src1 结果为: 0x0000 0000 8fff ffff
```

注意:

若 src1 = 0x0000 0000 8fff fffe, src2 = 0x0000 0000 0000 0001 **fadd** dest, src2, src1 则出现 Floating point exception, 进反复测试只要运算结果为负就会出现该异常, 按理应该高位字填充相加结果的最高位才是。

测试程序参见附录 C.

这个是体系结构的一个约定了。fadd 只对低 32 位执行加运算，然而操作数是位于 64 位多媒体寄存器（MMR)中的。如果要使用 fadd 的话，则寄存器中的数据必须符号扩展，否则程序会异常退出。这个只对运行于 32 位模式下的龙芯 2E 而言， 64 位模式下的龙芯 2E 就不会有该问题.

如上面的测试程序中操作数 0x0000 0000 ffff fffe(-2)要扩展为 0xffff ffff ffff fffe 方可无事。

47. fsub

有符号低位字数据减

```
fsub DEST, SRC2, SRC1
```

操作：

```
DEST[31:0] = SRC2[31:0] - SRC1[31:0]
DEST[63:32] = DEST[31] ... DEST[31]  # 高位字填充相减结果的最高位
```

48. fsubu

无符号低位字数据减

```
fsubu DEST, SRC2, SRC1
```

操作：

```
DEST[31:0] = SRC2[31:0] - SRC1[31:0]
DEST[63:32] = DEST[31] ... DEST[31]  # 高位字填充相减结果的最高位
```

49. fdsub

有符号双字数据减

```
fdsub DEST, SRC2, SRC1
```

操作：

```
DEST[63:0] = SRC2[63:0] - SRC1[63:0]
```

Example:

```
src1 : 0x0000 0000 0000 0002
src2 : 0x0000 0000 ffff fffe

fsub dest, src2, src1  结果为: 0xffff ffff ffff fffc
fsubu dest, src2, src1 结果为: 0xffff ffff ffff fffc
fdsub dest, src2, src1 结果为: 0x0000 0000 ffff fffc

----------------------------------------

src1 : 0x0000 0000 ffff fffe
src2 : 0x0000 0000 0000 0001

fsub dest, src2, src1  结果为: 0x0000 0000 0000 0003
fsubu dest, src2, src1 结果为: 0x0000 0000 0000 0003
fdsub dest, src2, src1 结果为: 0xffff ffff 0000 0003
```

50. fseq

相等则置浮点控制寄存器的条件位(CC0, FCR31[23]) 为 1, 否则置条件位为 0

```
fseq DEST, SRC
```

操作:

```
IF DEST[63:0] == SRC[63:0] THEN
  FCR31[23] = 1
ELSE
  FCR31[23] = 0
FI
```

Example:

```
src : 0x0000 0202 0201 8040
dest : 0x0000 0000 0201 8040

fseq dest, src FCR31 is: 0x0000 0000

-----------------------------------

src : 0x0000 0000 0201 8040
dest : 0x0000 0000 0201 8040

fseq dest, src FCR31 is: 0x0080 0000
```

51. fseq1 (后缀为数字 1)

```
fseq1 DEST, SRC
```

简单测试了一下，该指令与 `fseq` 没有明显的差别，发现的兄弟提醒一下我。

52. fsltu

无符号数据比较，小于则置浮点控制寄存器的条件位(CC0, FCR31[23]) 为 1，否则置条件位为 0

```
fsltu DEST, SRC
```

操作：

```
IF DEST[63:0] < SRC[63:0]     # 无符号数据比较
  FCR31[23] = 1;
ELSE
  FCR31[23] = 0;
```

53. fslt

有符号数据比较，小于则置浮点控制寄存器的条件位(CC0, FCR31[23]) 为 1，否则置条件位为 0

```
fslt  DEST, SRC
```

操作：

```
IF DEST[63:0] < SRC[63:0]     # 有符号数据比较
  FCR31[23] = 1;
ELSE
  FCR31[23] = 0;
```

Example:

```
src : 0x0000 0000 0000 8042
dest : 0x8000 0000 0000 8040    # 有符号为负数, 无符号为正数

fslt dest, src FCR31 is: 0x0080 0000    # 有符号比较 dest 小, 置 1
fsltu dest, src FCR31 is: 0x0000 0000   # 无符号比较 dest 大, 置 0
```

54. fsleu

无符号数据比较，小于等于则置浮点控制寄存器的条件位(CC0, FCR31[23]) 为 1，否则置条件位为 0

```
fsleu DEST, SRC
```

操作：

```
IF DEST[63:0] <= SRC[63:0]      # 无符号数据比较
  FCR31[23] = 1;
ELSE
  FCR31[23] = 0;
```

55. fsle

```
fsle DEST, SRC
```

有符号数据比较，小于等于则置浮点控制寄存器的条件位(CC0, FCR31[23]) 为 1，否则置条件位为 0，

操作：

```
IF DEST[63:0] < SRC[63:0]     # 有符号数据比较
  FCR31[23] = 1;
ELSE
  FCR31[23] = 0;
```

Example:

```
src : 0x0000 0000 0000 8042
dest : 0x8000 0000 0000 8040

fsle dest, src FCR31 is: 0x0080 0000   # 有符号比较 dest 小, 置 1
fsleu dest, src FCR31 is: 0x0000 0000  # 无符号比较 dest 大, 置 0

--------------------------------

src : 0x8000 0000 0000 8042
dest : 0x8000 0000 0000 8042

fsle dest, src FCR31 is: 0x0080 0000   # 有符号比较,相等, 置 1
fsleu dest, src FCR31 is: 0x0080 0000  # 无符号比较,相等, 置 1

--------------------------------

src : 0x0000 0000 0000 8042
dest : 0x0000 0000 0000 8042

fsle dest, src FCR31 is: 0x0080 0000
fsleu dest, src FCR31 is: 0x0080 0000
```

Reference:

[1] Intel 64 and IA-32 Architectures Software Developer's Manual Volume 2B, Intel Corp, 2006

[2] 梁肇新, 编程高手箴言 [M]. 北京：电子工业出版社, 2003：368~393.

[3] 龙芯 2E 用户手册 [S].

[4] Khang Nguyen, Assembly Language Tips & Tricks for the Intel Pentium 4 Processor, Intel Corp.

附录 A：测试例程 -- pmaddhw

```
#include <stdio.h>

unsigned short data[] = {
    0x0, 0x0, 0x0, 0x0,       /* 该 64 位用来保存运算结果 */
    0x1, 0x3, 0x5, 0x7,       /* src1 = 0x0007 0005 0003 0001 */
    0x2, 0x4, 0x6, 0x8        /* src2 = 0x0008 0006 0004 0002 */
};


inline void pmaddhw(unsigned short * const row)
{
    asm volatile
        (
            ".set mips3\n\t"
            ".set noreorder\n\t"
            "ldc1 $f0, %1\n\t"            /* 从内存加载 64 位数据到 f0 */
            "ldc1 $f2, %2\n\t"            /* f2 <-- SRC2 */
            "pmaddhw $f2, $f2, $f0\n\t"   /* pmaddhw dest, src2, src1 */
            "sdc1 $f2, %0\n\t"            /* 存储计算结果 */
            ".set reorder\n\t"
            ".set mips0\n\t"
            : "=m"(*row)
            : "m"(*(row+4)), "m"(*(row+8))
            : "$f0", "$f2", "memory"
        );
}
```

```
int main()
{
    printf("src1: 0x%04x %04x %04x %04x\n\n", data[7], data[6], data[5],
data[4]);
    printf("src2: 0x%04x %04x %04x %04x\n", data[11], data[10], data[9],
data[8]);
    pmaddhw(data);
    printf("pmaddhw dest, src2, src1 结果为: 0x%04x %04x %04x %04x\n\n",
data[3], data[2], data[1], data[0]);
}
```

附录 B：测试例程 -- fslt/fsltu

```
#include <stdio.h>

unsigned short data[] = {
    0x0, 0x0, 0x0, 0x0,
    0x8042, 0x0000, 0x0000, 0x0000,
    0x8040, 0x0000, 0x0000, 0x8000
};

void fslt(unsigned short * const row);

int main()
{
    printf("-------------------------------------------------------\n");
    printf(" Testing Godson2 Multi-Media Instruction  fslt/fsltu\n");
    printf("-------------------------------------------------------\n\n");
    printf("src : 0x%04x %04x %04x %04x\n", data[7], data[6], data[5],
data[4]);
    printf("dest : 0x%04x %04x %04x %04x\n\n", data[11], data[10], data[9],
data[8]);

    fslt(data);

    printf("fslt dest, src FCR31 is: 0x%04x %04x\n\n", data[1], data[0]);

    printf("fsltu dest, src FCR31 is: 0x%04x %04x\n\n", data[3], data[2]);

}
```

```
void fslt(unsigned short * const row)
{
    asm volatile
        (
            ".set mips3\n\t"
            ".set noreorder\n\t"

            "ldc1 $f0, %2\n\t"
            "ldc1 $f2, %3\n\t"

            "fslt $f2, $f0\n\t"

            "xor $13, $13, $13\n\t"
            "cfc1 $13, $31\n\t"          /* 取浮点控制寄存器的值到通用寄存器 */
            "sw $13, %0\n\t"             /* 将通用寄存器的值写到内存，用于显示 */

            "fsltu $f2, $f0\n\t"

            "xor $13, $13, $13\n\t"
            "cfc1 $13, $31\n\t"
            "sw $13, %1\n\t"

            ".set reorder\n\t"
            ".set mips0\n\t"
            : "=m"(*row), "=m"(*(row+2))
            : "m"(*(row+4)), "m"(*(row+8))
            : "$f0", "$f2", "$f4", "memory"
        );
}
```

附录 C: 测试例程 -- fadd

```
#include <stdio.h>

unsigned short data[] = {
    0x0, 0x0, 0x0, 0x0,
    0xFFFE, 0xFFFF, 0x0000, 0x0000,
    0x0001, 0x0000, 0x0000, 0x0000
};

inline void fadd(unsigned short * const row)
{
    asm volatile
        (
            ".set mips3\n\t"
            ".set noreorder\n\t"
            "ldc1 $f2, %1\n\t"
            "ldc1 $f8, %2\n\t"

            "fadd $f8, $f8, $f2\n\t"

            "sdc1 $f8, %0\n\t"

            ".set reorder\n\t"
            ".set mips0\n\t"
            : "=m"(*row)
            : "m"(*(row+4)), "m"(*(row+8))
            : "$f2", "$f4", "$8", "memory"
        );
}
```

```
int main()
{
    printf("------------------------------------------------------------\n");
    printf("  Testing Godson2 Instruction fadd\n");
    printf("------------------------------------------------------------\n\n");
    printf("src1 is: 0x%04x %04x %04x %04x\n", data[7], data[6], data[5],
data[4]);
    printf("src2 is: 0x%04x %04x %04x %04x\n", data[11], data[10], data[9],
data[8]);

    fadd(data);

    printf("fadd dest, src2, src1  result is: 0x%04x %04x %04x %04x\n",
data[3], data[2], data[1], data[0]);

}
```

预期做 0x0000 0000 ffff fffe(-2) 与 0x0000 0000 0000 0001(+1) 的 fadd 运算，预期输出应该为 0xffff ffff ffff ffff，但运行会报 Floating point exception，并退出。