

3. Выполнение арифметических и трансцендентных команд сопроцессорами x87

Математический сопроцессор x87 выполняет операции с плавающей точкой в 50..100 раз быстрее эквивалентных подпрограмм процессора x86. Программисты могут включать команды сопроцессора x87 в программы для процессора x86. Когда основной процессор встречает команду сопроцессора, он передает ее для выполнения этому сопроцессору x87. Возникает иллюзия того, что процессор x86 может выполнять команды с плавающей точкой.

При отсутствии сопроцессора x87 основной процессор x86, обнаружив команду сопроцессора, передает управление подпрограмме обработки особого случая, указанной операционной системой. Фирма INTEL поставляет подпрограмму E80x87, которая программно эмулирует действия сопроцессора x87. Эта подпрограмма создает иллюзию наличия в системе сопроцессора x87, но операции с плавающей точкой выполняются в 50..100 раз медленнее.

АРИФМЕТИЧЕСКИЕ КОМАНДЫ

Базовые арифметические команды – сложение (FADD), вычитание (FSUB), умножение (FMUL) и деление (FDIV) – имеют два операнда (источник и приемник) и реализуют действия:

ПРИЕМНИК \leftarrow ПРИЕМНИК \$ ИСТОЧНИК,
где \$ - основные команды: +, -, *, /.

Для некоммутативных команд вычитания и деления имеются обратные варианты команд (в конце мнемоники добавляется буква R – reverse):

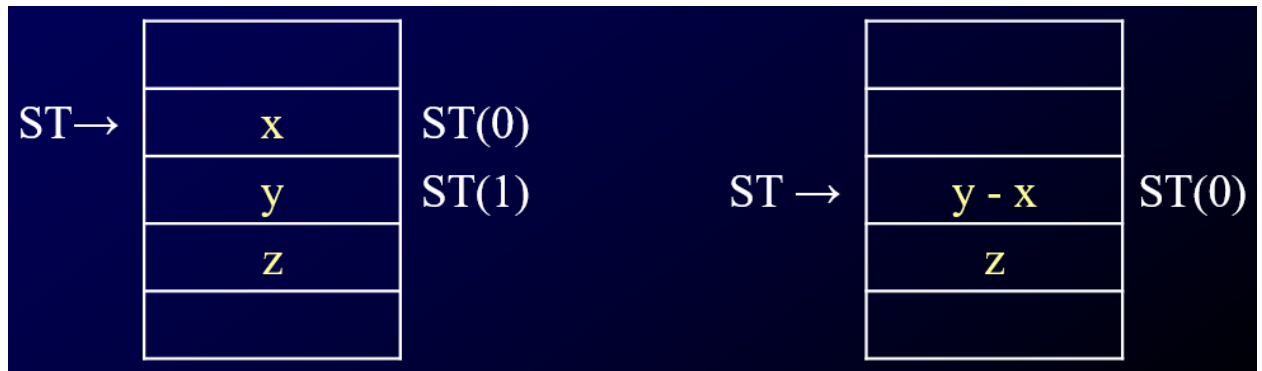
ПРИЕМНИК \leftarrow ИСТОЧНИК \$ ПРИЕМНИК.

Во всех командах один операнд должен быть В ВЕРШИНЕ СТЕКА.

6 форм арифметических команд:

- FSUB mem,
- FISUB mem - адресуемый операнд в памяти является источником, а регистр вершины стека ST(0) - приемником. Преобразование в расширенный формат с плавающей точкой осуществляется в процессе выполнения команды.
- УКАЗАТЕЛЬ СТЕКА НЕ МОДИФИЦИРУЕТСЯ.
- FSUB ST(0), ST(i) - любой численный регистр ST(i) служит источником, а ST(0) - приемником. УКАЗАТЕЛЬ СТЕКА НЕ МОДИФИЦИРУЕТСЯ.
- FSUB ST(i), ST(0) - вершина стека является источником, а ST(i) - приемником. УКАЗАТЕЛЬ СТЕКА НЕ МОДИФИЦИРУЕТСЯ.

- FSUBP ST(i), ST - вершина стека является источником, а ST(i) - приемником. По окончании операции источник ST(0) извлекается из стека с последующим ИНКРЕМЕНТОМ УКАЗАТЕЛЯ СТЕКА.
- FSUB (FSUBP ST(1),ST(0)) - извлекает из вершины стека источник (потом инкрементирует указатель стека), затем извлекает приемник (еще раз инкрементирует указатель стека), выполняет операцию и перед включением результата в стек декрементирует указатель. В итоге - ВЕРШИНА СТЕКА СДВИНУЛАСЬ В СТОРОНУ УВЕЛИЧЕНИЯ. Последняя форма является частным случаем предыдущей.



ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЕ АРИФМЕТИЧЕСКИЕ КОМАНДЫ

Эти команды без явных операндов выполняют действия над содержимым вершины стека, результат помещают туда же БЕЗ МОДИФИКАЦИИ УКАЗАТЕЛЯ СТЕКА.

- FABS – нахождение абсолютной величины.
- FCHS – изменение знака операнда.
- FRNDINT – округление операнда до целого в формате с плавающей точкой.
- FSQRT – извлечение квадратного корня.
- FPREM – вычисляет остаток от деления содержимого ST(0) на число из ST(1). Остаток замещает число в ST(0).
- FSCALE – масштабирование на степень числа 2 – прибавляет целое число из ST(1) к порядку в регистре ST(0), т.е. умножает (или делит) ST(0) на число $2^{ST(1)}$. Эту команду можно использовать для возведения числа 2 в целую степень (положительную или отрицательную).

КОМАНДЫ СРАВНЕНИЙ

- FCOM ST(i)/mem - сравнивает содержимое ST(0) с операндом "x" (в численном регистре или в памяти), т.е. производит вычитание операндов без запоминания результата и устанавливает коды условий в регистре состояния
- FICOM mem – сравнивает содержимое вершины стека ST(0) с целым числом в памяти.

- FCOMP ST(i)/mem – аналогична команде FCOM, но после сравнения производит извлечение операнда из вершины стека.
- FCOMPP ST(i) – сравнивает ST(0) с ST(i) и извлекает из стека оба операнда.
- FTST – сравнивает вершину стека с НУЛЕМ.
- FXAM – сравнивает вершину стека с НУЛЕМ, но выставляет 4 флага условий (в частности, определяется ненормализованная мантисса, бесконечность, нечисло и др.).

Флаги условий (C0, C3) сопроцессора x87 используются для организации условных переходов микропроцессором x86. Для этого командой – FSTSW AX – содержимое регистра состояния x87 копируется в аккумулятор AX микропроцессора x86. После этого командой – SAHF – старший байт аккумулятора (AH) передается в младший байт регистра флагов. При этом условию C0 соответствует флаг CF, а условию C3 - флаг ZF.

| C3 | C0 | Условие |
|----|----|-------------------------|
| 0 | 0 | $ST(0) > x$ |
| 0 | 1 | $ST(0) < x$ |
| 1 | 0 | $ST(0) = x$ |
| 1 | 1 | ST(0) и x – не сравнимы |

- FCOMI ST(0),ST(i) – сравнение вещественных чисел и установка флагов в EFLAGS (P6+).
- FCOMIP ST(0),ST(i) – сравнение вещественных чисел и установка флагов в EFLAGS и извлечение операнда из вершины стека (P6+).

ТРАНСЦЕНДЕНТНЫЕ КОМАНДЫ

К элементарным трансцендентным функциям относятся:

- тригонометрические функции (**sin**, **cos**, **tg** и др.),
- обратные тригонометрические функции (**arcsin**, **arctg** и др.),
- логарифмические функции (**log₂(x)**, **log₁₀(x)**, **log_e(x)**),
- показательные функции (**x^y**, **2^x**, **10^x**, **e^x**),
- гиперболические функции (**sh**, **ch**, **th** и др.),
- обратные гиперболические функции (**arsh**, **arch**, **arth** и др.).

Сопроцессор **x87** вычисляет любую из элементарных трансцендентных функций от аргументов **двойной точности**, давая результат **двойной точности** с ошибкой младшего разряда округления. Аргументы трансцендентных команд должны быть нормализованными.

| Мнемоника | Описание команды | Вычисляемая функция |
|----------------|-----------------------|---|
| FPTAN | Частичный тангенс | $ST(1) / ST(0) = \text{tg} (ST(0))$ |
| FSIN | Синус(387+) | $ST(0) = \sin (ST(0))$ |
| FCOS | Косинус (387+) | $ST(0) = \cos (ST(0))$ |
| FSINCOS | Синус, косинус (387+) | $ST(7)=\sin(ST(0));$ $ST(0)=\cos(ST(0))$ |
| FPATAN | Частичный арктангенс | $ST(0) = \text{arctg} (ST(1)/ST(0))$ |
| FYL2X | Двоичный логарифм | $ST(0) = ST(1) * \log_2 (ST(0))$ |
| FYL2XP1 | Двоичный логарифм | $ST(0) = ST(1) * \log_2 (ST(0)+1)$ |
| F2XM1 | Показательная функция | $ST(0) = 2^{(ST(0))} - 1$ |