

MSP430, część 1

Co ma takiego, czego inne nie mają?

Najbardziej zwarta i najogólniejsza odpowiedź brzmi: elegancją. Aczkolwiek jest to może pojęcie nieco mgliste, szczególnie w technice, to jednak przecież właśnie elegancja zwraca na siebie uwagę wiele konstrukcji – mostów, budynków, samolotów (także bojowych, mimo, że służą przecież do zabijania) i mnóstwo innych. W przypadku MSP430 elegancja ta wynika ze spójności najogólniejszej koncepcji jednostki centralnej oraz wielkiej prostoty, a równocześnie uderzającej efektywności przyjętych rozwiązań.

Dlaczego 16 bitów?

Czy w przypadku mikrokontrolerów, przeznaczonych przecież w pierwszym rzędzie do realizacji prostych układów sterowania, jest w ogóle sensowne operowanie danymi 16-bitowymi? Zazwyczaj zapewne jest to zupełnie zbędne i pociąga za sobą tylko niepotrzebny wzrost stopnia komplikacji. Przecież, aby odczytać stan kilkoprzyciskowej klawiaturki, włączyć przełącznik, zaświecić diodę LED, przedstawić wynik pomiaru na alfanumerycznym wyświetlaczu LCD, czy nawet wysłać dane poprzez modem GSM, nie potrzeba więcej niż 8 bitów. Są oczywiście systemy obciążone znaczną liczbą dokładnych obliczeń (komputery tzw. samochodowe, czy urządzenia medyczne), w których operowanie danymi 16-, a nawet 32-bitowymi jest niezbędne, ale stanowią one raczej margines w ogólnej masie urządzeń wykorzystujących mikrokontrolery. Zupełnie inaczej sytuacja wygląda w przypadku mikroprocesorowych systemów uniwersalnych, głównie komputerów typu PC, gdzie obliczenia na liczbach zmiennoprzecinkowych wykonywane są non-stop, chociażby w grafice wektorowej. Stąd m.in. wynika ustalony od lat standard słowa 32-bitowego. W przypadku mikrokontrolerów standardem jest raczej bajt, czyli słowo 8-bitowe.

Tym niemniej, nawet w prostych mikrokontrolerach bardzo często, a właściwie nawet bezustannie, pojawia się potrzeba dokonywania manipulacji danymi

Polscy konstruktorzy aparatury elektronicznej i bardziej ambitni amatorzy zaczynają coraz wyraźniej przekonywać się do mikrokontrolerów serii MSP430. Całkiem słusznie, nie wiadomo tylko, dlaczego z tak dużym opóźnieniem – MSP430 ma już przecież sporo ponad dziesięć lat! Czym wyróżnia się ten mikrokontroler na tle wielu innych, częstokroć nowszych, powszechnie znanych, łatwo dostępnych globalnie i masowo stosowanych?

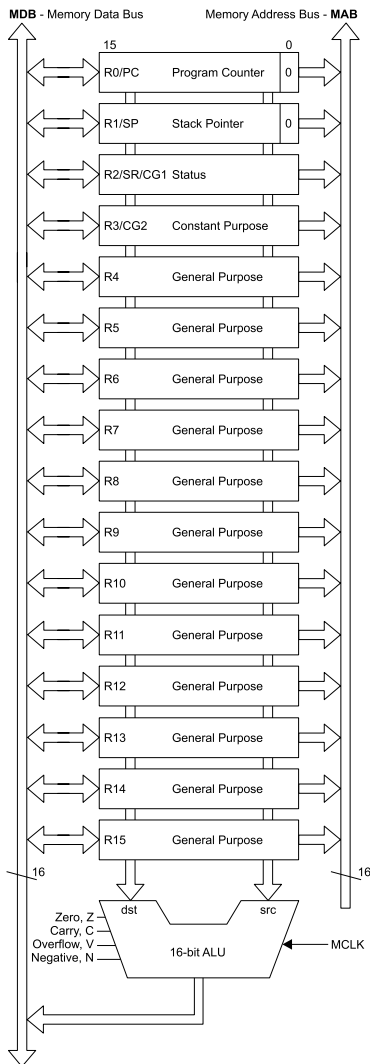
16-bitowymi – chodzi o operacje na adresach. Adres pamięci programu jest prawie zawsze 16-bitowy i stwarza to w jednostkach 8-bitowych pewne problemy. Przykładem mogą być instrukcje skoków względnych, których zakres ograniczany bywa do 8 bitów, a nawet mniej (AVR-y), albo odczyt tablic z danymi z pamięci programu. Znacznie częściej operuje się operandami umieszczonymi w wewnętrznej pamięci danych, a nie w pamięci programu, i tu problemy są jeszcze poważniejsze. Każdy mikroprocesor musi mieć możliwość adresowania operandów przynajmniej w sposób bezpośredni i pośredni, a więc poprzez zawartość rejestru lub rejestrów. W jednostkach 8-bitowych wymaga to albo ograniczenia długości adresu też do standardowej długości rejestru (tak jest chociażby w '51), co skutkuje maksymalną pojemnością pamięci danych tylko 256 bajtów, albo łączenia pojedynczych rejestrów w parę (jak w AVR-ach). Nie jest to ani wygodne, ani efektywne, a zmiany zawartości wskaźników adre-

sowych (np. dekrementacja) stają się uciążliwe. Próby poprawienia sytuacji prowadzą czasem do przedziwnych, chociaż uzasadnionych potrzebami rozwiązań takich, jak wewnętrzna – zewnętrzna pamięć danych, czyli pamięć umieszczona wewnątrz mikrokontrolera, ale obsługiwana instrukcjami przeznaczonymi dla pamięci zewnętrznej. Istnienie 16-bitowych rejestrów radykalnie usuwa wszystkie trudności – wszelkie operacje na adresach mogą być przeprowadzane z wykorzystaniem tych rejestrów.

Podzespółem, występującym obowiązkowo w każdym mikrokontrolerze, jest oczywiście przynajmniej jeden układ licznikowo-czasowy. Praktyka wskazuje, że układy takie powinny być 16-bitowe, a to znowu wiąże się z problemami ich obsługi w jednostkach 8-bitowych. W szczególności dotyczy to możliwości niezawodnego ładowania i/lub odczytu dwubajtowej zawartości licznika w trakcie jego normalnej pracy.

Wreszcie w wielu mikrokontrolerach występują przetworniki analogowo-cy-

Za miesiąc płyta z kompletem materiałów o MSP430



Rys. 1. Rejestry mikrokontrolera MSP430

frowe. Obecnie 8-bitowa rozdzielczość przetworników jest niewystarczająca w większości zastosowań pomiarowych, standardem jest rozdzielczość 10-, 12- lub nawet 16-bitowa. W 16-bitowym mikrokontrolerze obróbka takich danych pomiarowych staje się nieporównywalnie łatwiejsza.

Mikrokontroler MSP430 w teorii i praktyce Contrans TI organizuje cykl szkoleń-seminariów pt. „Mikrokontroler MSP430 w teorii i praktyce”, które odbędą się w trzech miastach, w dniach:
 Katowice – 19.04.2007
 Wrocław – 24.04.2007
 Warszawa – 26.04.2007

Na seminariach zostanie przedstawiona budowa i możliwości procesorów z rodziny MSP430 oraz narzędzia wspomagające prace projektowe. Szczególną uwagę prelegenci poświęcą aplikacjom niskomocowym, w których mikrokontrolery MSP430 mają uzasadnioną silną pozycję. Oprócz wykładów teoretycznych w ramach szkoleń odbędą się ćwiczenia polegające na przygotowaniu aplikacji mikrokontrolera MSP430F437 z dołączonym wyświetlaczem LCD. Koszt udziału w seminarium wynosi 79 zł. Szczegółowe informacje i formularze zgłoszeń są dostępne na stronach: www.contrans.com.pl oraz www.ep.com.pl

Trzeba w tym miejscu jednak wyraźnie zaznaczyć, że jeżeli zadaniem systemu jest miganie pojedynczą diodą LED, albo włączenie oświetlenia po zapadnięciu zmiernicy, to mikrokontroler 8-bitowy niemal zawsze będzie bardziej efektywny od 16-bitowego. Ponadto każdy mikrokontroler musi mieć możliwość operowania na pojedynczych bajtach, na przykład reprezentujących łańcuch znaków. Aby pogodzić to z dwukrotnie większą długością słowa danych konieczne jest przyjęcie pewnych kompromisów. Albo bajtowa informacja zapisywana jest na 2 bajtach, co wiąże się ze słabym wykorzystaniem, czy wręcz marnotrawieniem pamięci, albo dopuszcza się adresowanie także pojedynczych bajtów. To z kolei wymaga bajtowej (a nie słowowej) organizacji pamięci danych i możliwości podziału rejestrów wewnętrznych na jednobajtowe „połówki” oraz wiąże się z mniej lub bardziej poważnymi komplikacjami konstrukcyjnymi. W praktyce spotykane są wszystkie możliwe rozwiązania. Z zupełnie podobnymi problemami borykali się konstruktorzy pierwszego 16-bitowego mikroprocesora firmy Intel, a więc 8086, protoplasty wszystkich Pentium. W MSP430 przyjęto następujące, wyważone i bardzo rozsądne zasady:

- Wszystkie operacje mogą być wykonywane na słowach lub pojedynczych bajtach, odróżnienie obu sytuacji wymaga oczywiście zarezerwowania specjalnego bitu w słowie rozkazowym.
- Pamięć ma organizację bajtową (adres wskazuje bajt). Dwubajtowe słowo umieszczone w pamięci musi być zlokalizowane pod adresem parzystym, z wyzerowanym najmniej znaczącym bitem. Innymi słowy mniej znaczący bajt jest umieszczany pod adresem parzystym, a bardziej znaczący pod kolejnym adresem nieparzystym. Jeżeli zatem w pamięci poprzepłatane są słowa i bajty, to niektóre pojedyncze komórki mogą pozostawać niewykorzystane. Dotyczy to również stosu systemowego – przechowuje on standardowo słowa i rozwija się w dół, nie w górę.
- Rejestry uniwersalne nie mogą być dzielone na części. Z pełnej zawartości rejestru w trakcie realizacji operacji bajtowych jako argument pobierany jest tylko mniej znaczący bajt, a bardziej znaczący w operacjach bajtowych brać udziału nie może. Podobnie zapis bajtowego wyniku do rejestru skutkuje wyzerowaniem bardziej znaczącej połowy. Brak możliwości podziału rejestrów na połówki

stanowi pewien mankament, jednak w przeciwnym przypadku należałoby zwiększyć długość liczb numerujących rejestry (czyli ich adresy), a na to nie ma miejsca w słowie rozkazowym. Z całą pewnością lepiej jest dysponować szesnastoma rejestrami 16-bitowymi, niż tylko ośmioma dającymi się podzielić na połowy.

Tak czy inaczej, szesnastobitowa długość słowa danych w mikrokontrolerze jest jak najbardziej uzasadniona. Oczywiście mikrokontrolery takie istnieją od dawna i są powszechnie wykorzystywane w bardziej zaawansowanych zastosowaniach (80C196, 80C166, H8/300), ale są to z założenia układy dość skomplikowane. MSP430, mimo że 16-bitowy, zachowuje prostotę i wiele cech charakterystycznych dla bardziej wyrafinowanych rozwiązań 8-bitowych, w tym skrajnie mały pobór mocy i możliwość zasilania bardzo niewielkimi napięciami. Taka kombinacja najlepszych cech mikroprocesorów 8- i 16-bitowych stanowi o wyjątkowości tej konstrukcji.

Struktura jednostki centralnej.

Nietypowa koncepcja jednostki centralnej w największym stopniu odróżnia MSP430 od wszystkich innych znanych mikroprocesorów i mikrokontrolerów. Z punktu widzenia programisty jest ona bardzo prosta i przejrzysta, bowiem poza niemal standardową jednostką arytmetyczno-logiczną zawiera jeszcze szesnaście 16-bitowych rejestrów ponumerowanych od 0 do 15 (rys. 1).

Odmienność jednostki polega na włączeniu do zestawu rejestrów uniwersalnych także rejestrów systemowych, normalnie niedostępnych dla programisty, a więc licznika rozkazów PC, wskaźnika stosu SP oraz rejestru znaczników (flag) SR. Ta drobna na pozór modyfikacja otwiera szereg zupełnie nowych możliwości, pociągając za sobą znaczące uproszczenia, zredukowanie liczby rozkazów, ograniczenie liczby trybów adresowania i ułatwienie programowania. Przykładowo niepotrzebna staje się instrukcja skoku, bo zastępuje ją po prostu załadowanie jednego z rejestrów (R0, czyli PC) adresem skoku. W rezultacie lista rozkazów mikrokontrolera liczy zaledwie 27 instrukcji, co jest chyba swoistym rekordem świata, i na dokładkę wbrew pozorom jest ona w zasadzie kompletna, to znaczy zawiera właściwie wszystkie potrzebne w praktyce rozkazy.

W konstrukcji jednostki centralnej przyjęto kilka podstawowych założeń decydujących o jej efektywności. Oparta jest o klasyczną architekturę von Neu-

Świat MSP430

ADS12xx - przetworniki A/C do wag
ADS11xx - tanie przetworniki A/C dla przemysłu
ADS55xx - bardzo szybkie przetworniki A/C - do 210MS/s

TPS7xxx - stabilizatory LDO
TPS6xxx - konwertery DC/DC
TPS5xxx - układy watch-dog
BQ2xxx - układy nadzoru baterii
UCCxxx - konwertery DC/DC



OPA - INA - PGA

wzmacniacze instrumentalne
szybkie wzmacniacze pomiarowe
wzmacniacze programowalne

REF
precyzyjne źródło referencji

CC1100 - transceiver 433/868/915MHz
CC2400 - zaawansowany transceiver 2.4GHz
CC2420 - transceiver ZigBee(TM)
CC2500 - transceiver 2.4GHz o bardzo niskim poborze energii

16 bitowy rdzeń RISC * 8/16MHz * od 220µA @ 1MHz * 5 trybów pracy o obniżonym poborze energii * do 120kB Flash * do 10kB RAM * ADC 10/12/16bit C/A12bit * komparator analogowy * sterownik pola LCD * UART * SPI * I2C * IrDA * DMA brown-out reset/SVS * do 4 liczników 16-bitowych * do 36 linii I/O * 2 kwarcowe generatory taktujące + generator DCO z pętlą FLL * obudowy QFN16 - TQFP100

MSP430F1xx - szybkie mikrokontrolery ogólnego zastosowania, wbudowane bloki A/C, C/A, MPY i DMA ułatwiają realizację systemu obróbki sygnałów analogowych

MSP430F2xx - mikrokontrolery do kompaktowych aplikacji, maksymalna szybkość pracy 16MHz, zintegrowane rezystory pull-up, zmodyfikowany system zegarowy, aplikacja RTC zużywa tylko 0.8µA, stale aktywny BOR

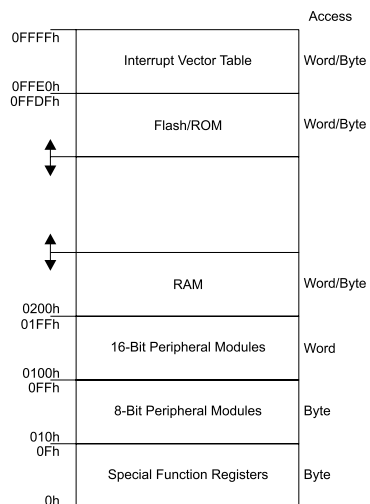
MSP430F4xx - mikrokontrolery wyposażone w sterownik pola LCD do 120 segmentów, rozbudowany system zegarowy do 36 linii I/O, wbudowany Basic Timer ułatwia realizację RTC

Układy specjalne:

MSP430FE42x - kompletny SoC do liczników energii elektrycznej
MSP430FW42x - kompletny SoC do wodomierzy i ciepłomierzy
MSP430FG43x, MSP430F46xx - kompletny SoC dla podręcznych przyrządów medycznych

informacji szukaj:

www.ti.com * www.contrans.pl * kolejne wydania magazynu ELEKTRONIKA PRAKTYCZNA



Rys. 2. Mapa przestrzeni adresowej mikrokontrolera MSP430

mana. We wspólnej, 64-kilobajtowej przestrzeni adresowej umieszczone są dane, program oraz rejestry przeznaczone do obsługi urządzeń wejścia-wyjścia (rys. 2).

Dostęp do wszystkich elementów informacyjnych w pamięci jest jednolity, za pośrednictwem tych samych rozkazów i trybów adresowania, niezależnie od tego, co sobą reprezentują.

W szczególności w pamięci RAM może być umieszczony i uruchomiony krótki program. Podobnie równouprawnione są wszystkie (niemal) rejestry. Każdy może pełnić dowolną funkcję, przechowując dane lub będąc wskaźnikiem adresowym. Ta symetria jest cechą unikalną, w większości mikrokontrolerów występuje daleko posunięta specjalizacja rejestrów. Przykładowo w '51 do 8-bitowego adresowania pośredniego służą tylko rejestry R0 i R1, a do adresowania 16-bitowego pamięci zewnętrznej zupełnie inny rejestr DPTR. W PIC'ach jest tylko jeden rejestr – fantom, a w AVR-ach pamięć danych można adresować pośrednio przez pary rejestrów X, Y, Z, ale już pamięć programu tylko przez Z. W MSP430 nie ma żadnych tego rodzaju ograniczeń, chyba, że mają one charakter naturalny – przecież zupełnie bezsensowne byłoby adresowanie argumentów zawartością rejestru znaczników! Te nieliczne i oczywiste wyjątki zostały zresztą skrzętnie wykorzystane do realizacji innych celów.

MSP430 jest w pełni, bez ograniczeń dwuadresowy i niemal całkowicie ortogonalny, co także jest cechą unikalną. W każdym rozkazie dwuargumentowym wskazywane jest miejsce położenie obu argumentów, przy czym może to być zarówno rejestr, jak i dowolna komórka pamięci. Pierwszy z argumentów – źródło (*source*) może być wskazywany aż na 7 sposobów, a zatem dostępnych jest tyle trybów adresowania. Dla drugiego argumentu przeznaczenia (*destination*), w miejsce którego wpisywany jest następnie wynik operacji, przewidziano 4 tryby adresowania. Pełna, można powiedzieć ortodoksyjna, ortogonalność wymagałaby również 6 trybów adresowania dla miejsca przeznaczenia wyniku (tylko 6, bo adresowanie natychmiastowe jest w takim przypadku bezsensowne). Niestety, zabrakło jednego bitu w długości słowa rozkazowego dla zrealizowania tego nieco idealistycznego postulatu. I tak MSP430 stanowi pod tym względem niedościgły wzorzec i jest niemal bliski ideału, do którego inne mikrokontrolery nawet się nie zbliżają.

Maciej Nowiński

KEIL™
An ARM® Company

ULINK2
Designed with Real-Time Library

ARM

nowości dla µC ARM

WG

Electronics
WG Electronics Sp. z o.o.
ul. Modzelewskiego 35
02-679 Warszawa
tel. +48 22 847 97 20
www.wg.com.pl

Real View - najlepszy kompilator C
ULINK-2 - nowa jakość debugera JTAG
Real Time Agent - śledzenie zmiennych "w locie"
Serial Wire Debug - debugger dla CORTEX-M3