

Firma Atmel znana jest przede wszystkim jako producent mikrokontrolerów, które bardzo szybko zdobyły światowe rynki i uznanie konstruktorów - od amatorów do profesjonalistów. Popularne stało się nawet powiedzenie: „jeśli nie wiesz, jak to zrobić, zastosuj Atmelka i po kłopotcie“. Dużą rolę w osiągnięciu sukcesu firma ta zawdzięcza doskonałemu wsparciu technicznemu swoich wyrobów.



JTAG-owy emulator dla procesorów AVR

Nie pojedzie się samochodem, jeśli nie należe się do baku paliwa. Tak samo jest z komputerem - bez odpowiedniego programu jest on tylko kupą złomu.

Tę pozornie oczywistą prawidłowość szybko zauważyła amerykańska firma Atmel, której misją jest wprowadzenie opracowywanie i produkcja podzespołów mikroelektronicznych, ale równoległe z nimi powstają tu i co najważniejsze - są udostępniane użytkownikom także liczne narzędzia wspomagające. Oferta w tym zakresie obejmuje oprogramowanie, sprzęt oraz bogatą dokumentację techniczną w postaci kart katalogowych, przykładowych procedur dotyczących najczęściej występujących zagadnień, a także gotowych aplikacji. Oprogramowanie i dokumentację w formacie *.pdf można ściągnąć bezpośrednio ze stron internetowych Atmela, w większości przypadków bez żadnych opłat. Produkty należące do wsparcia sprzętowego (programatory, starter kity, emulatory) najłatwiej jest uzyskać od lokalnych dystrybutorów firmy. Są one również do zdobycia w sklepach internetowych. Trzeba pod-

kreślić, że ich cena jest względnie niska. Ma to zachęcić do sięgania po podzespoły Atmela.

Co to jest JTAG?

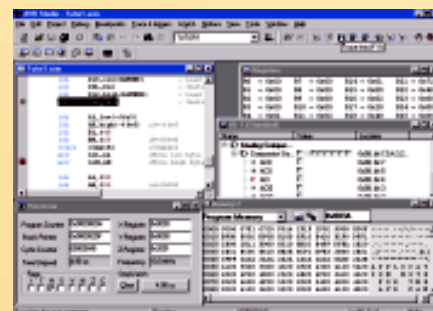
Jednym z najnowszych opracowań Atmela jest JTAG ICE (*JTAG In-Circuit Emulator*). Tajemniczo brzmiący akro-

Atmel jest kolejną „mikrokontrolerową” firmą, która doceniła zalety interfejsu JTAG, dotychczas stosowanego głównie w układach PLD.

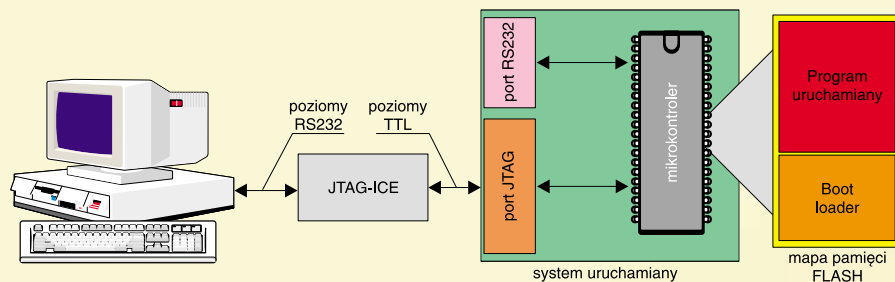
nim JTAG to opracowana w 1993 roku specyfikacja obejmująca metody przemysłowego testowania układów cyfrowych, rozszerzona później również o ich programowanie (dotyczy to oczywiście układów, które dają się zaprogramować w systemie np. pamięci Flash, układy PLD, mikrokontrolery). Aktualnie w ramach komitetu IEEE funkcjonują dwie grupy, zajmujące się rozwijaniem i dostosowywaniem interfejsu do wymagań nowych technologii. Niezwykle aktywna jest grupa IEEE1532, która zajmuje się rozwijaniem standardu IEEE1149.

W specyfikacji JTAG zwrócono uwagę na udostępnienie zasobów badanego układu (np. rejestrów mikroprocesora) za pomocą specjalnego interfejsu. Metoda taka jest określana terminem *boundary-scan* - informacje o stanie testowanego układu są uzyskiwane poprzez szeregowe wpisywanie wektora testującego, a następnie jego odczytywanie z rejestru szeregowo-równoległego tworzącego „ścieżkę krawędziową” umożliwiającą dostęp do poddawanych testowaniu wewnętrznych elementów układu scalonego.

Do tej pory było to możliwe tylko poprzez jego wyprowadzenia zewnętrzne.



Rys. 1. Okno programu AVR Studio



Rys. 2. System uruchomieniowy z emulatorem JTAG ICE

trzne. Nowe rozwiązanie uwolniło projektanta od konieczności używania podstawek pod układy, co nie jest bez znaczenia wobec coraz powszechniejszego stosowania elementów przeznaczonych do montażu powierzchniowego. Użyteczność tego interfejsu uwiadcza się szczególnie w przypadku podzespołów występujących w obudowach BGA (*Ball Grid Array*), dla których żadne inne rozwiązanie nie może być zastosowane. Jak widać,

JTAG świetnie się nadaje do uruchamiania systemów mikroprocesorowych, tym bardziej, że nie wyklucza możliwości pełnej emulacji w czasie rzeczywistym.

JTAG ICE

Emulator JTAG ICE, chociaż wygląda niepozornie, w rzeczywistości jest potężnym narzędziem do programowania i debugowania w układzie (*On-Chip Debugging - OCD*), przeznaczonym

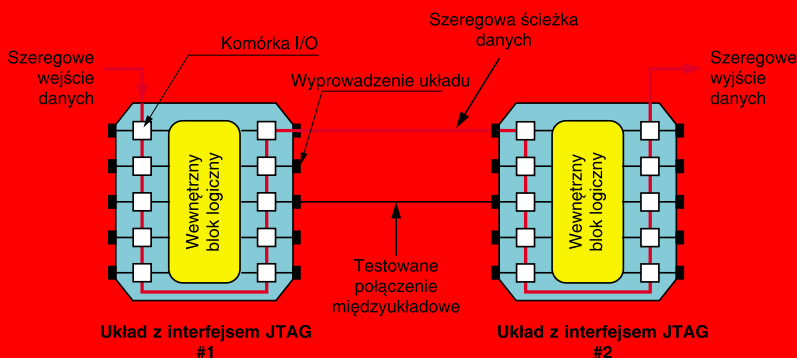
dla 8-bitowych, RISC-owych mikrokontrolerów z pamięcią Flash, należących do rodziny AVR. Do powyższych celów wykorzystuje określony aktualnie obowiązująca norma IEE-E 1149.1 interfejs JTAG. W przypadku JTAG ICE, należy stosować 10-końcówkowe złącze IDC. Tak pozornie proste rozwiązanie umożliwia emulację mikrokontrolera zainstalowanego w systemie docelowym, przy czym można to robić w czasie rzeczywistym z wykorzystaniem wszystkich jego bloków funkcjonalnych, zarówno cyfrowych, jak i analogowych (porty I/O, układy czasowe, przetwornik analogowo-cyfrowy, UART itd.). Dostęp do zasobów wewnętrznych jest realizowany poprzez specjalnie opracowany protokół: *AVR On-Chip Debug* (AVROCD). Jest on zaimplementowany w oferowanym przez Atmel programie służącym do uruchamiania własnych aplikacji - AVR Studio wersja 3.52 lub późniejsza (rys. 1). Najnowsze wersje tego programu można pobrać ze strony <http://www.atmel.com/atmel/products/prod203.htm>, znajdują się one także na płycie CD-EP8/2002B.

Tak przygotowany system uruchomieniowy umożliwia odczyt i zapis rejestrów wewnętrznych, w tym licznika rozkazów, pamięci Flash/EEPROM oraz SRAM. Trudno sobie wyobrazić, aby często żmudny proces wyszukiwania błędów w urządzeniu składającym się z części sprzętowej i programowej był w ogóle wykonalny bez możliwości ustawiania pułapek sprzętowych. Choć specyfikacja JTAG przewiduje używanie czterech, to JTAG ICE zezwala na wykorzystywanie tylko trzech *break-pointów*. Jeden jest na stałe zarezerwowany do realizacji pracy krokowej. Wyróżnia się pułapki, tzw. ogólnego przeznaczenia, na dane, maskowane SRAM i maskowane Flash. Dopuszczalne są różne ich kombinacje przy zachowaniu powyższego ograniczenia. Zwiększenie liczby zatrzymań programu jest na szczęście możliwe dla tych odmian mikrokontrolerów, które wykonują rozkaz *break*. Mówimy wówczas o pułapkach programowych. W takim przypadku nie ma żadnych ograniczeń ilościowych, występuje natomiast pewne spowolnienie działania mikrokontrolera. Życie często nas nie rozpieszcza. Tak jest i tym razem: pułapek programowych nie da się ustawić dla układów ATmega128 pracujących w trybie ATmega103. Przyznać jednak trzeba, że z tych procesorów korzysta się stosunkowo rzadko.

Program AVR Studio, w połączeniu z emulatorem JTAG ICE, jest przystosowany do uruchamiania procedur napisanych zarówno w assemblerze, jak i w języku C. Oznacza to, że w oknie aplikacji może być widoczny program

Co to jest JTAG?

Najpopularniejszy obecnie interfejs wykorzystywany do testowania i programowania (konfigurowania) w systemie wszelkiego rodzaju układów cyfrowych, znany pod akronimem JTAG, powstał w końcu lat '80. Prace prowadzone przez *Joint Test Action Group* miały pierwotnie na celu opracowanie systemu umożliwiającego testowanie złożonych modułów cyfrowych po ich zmontowaniu na płytkach drukowanych. Do tego celu opracowano specjalizowane układy logiczne interfejsów magistralowych, umożliwiających monitorowanie większości sygnałów w module (na przykład układy logiczne skanowania krawędziowego - *Boundary Scan Logic* - firmy Texas Instruments). Dzięki temu możliwe stało się testowanie nie tylko pojedynczych struktur półprzewodnikowych, lecz także wzajemnych połączeń między układami oraz połączeń między układami i elementami stanowiącymi ich otoczenie. Na rysunku powyżej przedstawiono przykładowy



system cyfrowy poddawany procedurze testowania w systemie, składający się z dwóch połączonych ze sobą układów.

Twórcy interfejsu JTAG założyli, że nie ma potrzeby szczegółowego testowania wewnętrznych fragmentów układów, o których poprawną pracę powinien zadbać projektant na etapie projektowania struktury logicznej. Testowanie funkcjonalne, z małymi wyjątkami, ograniczono do weryfikacji stanów logicznych w komórkach wejściowych i wyjściowych testowanych układów. Stąd właśnie BST, skrótna nazwa najważniejszej cechy i funkcji interfejsu JTAG, która jest akronimem od *Boundary Scan Testing*, co należy rozumieć jako testowanie metodą ścieżki krawędziowej.

w wersji źródłowej, np. w postaci instrukcji języka C. Jeśli jednej instrukcji wysokiego poziomu odpowiada kilka instrukcji asemblerowych, to podczas pracy krokowej programista tego nie odczuwa. W sytuacjach budzących wątpliwość, np. gdy nie mamy pewności czy kompilator przetłumaczył program tak, jak byśmy sobie tego życzyli, można się przełączyć na pracę w trybie asemblerowym. W jednym kroku jest wtedy wykonywany jeden rozkaz mikrokontrolera, a nie instrukcja języka wysokiego poziomu, co niekiedy ułatwia znalezienie błędu. Działanie emulatora JTAG ICE jest nieco odmienne od działania tradycyjnych emulatorów sprzętowych, do jakich jesteśmy przyzwyczajeni. W tych emulatorach uruchamiany program był zapisywany w pamięci RAM, która „udawała” pamięć programu. Dla współczesnych mikrokontrolerów podejście takie jest często zupełnie niewykonalne, gdyż w ogóle nie przewidują one wykorzystywania zewnętrznej pamięci programu. Trzeba więc pamiętać, aby przed rozpoczęciem emulacji załadować do Flasha/EEPROM-u mikrokontrolera wszystkie wykorzystywane dane i program. Oczywiście JTAG ICE jest do tego przystosowany, a czynność tę można wykonać z poziomu AVR Studio. Odpowiednie dane przesyłane są za pośrednictwem portu szeregowego z komputera do emulatora, skąd poprzez interfejs JTAG trafiają do mikrokontrolera. Po wystartowaniu emulacji wszystkie rozkazy są wykonywane w docelowym układzie aż do napotkania pułapki. W tym momencie odczytywane są stany wszystkich zasobów mikrokontrolera, a wyniki przekazywane do programu AVR Studio. Metoda ta niestety nie zezwala na śledzenie programu pomiędzy pułapkami. To niedogodność, do której trudno się na początku przyzwyczaić, ale nie pozostaje nam nic innego. Emulator JTAG ICE może być zasilany z układu uruchamianego lub z zasilacza zewnętrznego 9...15 VDC,

którego - nawiasem mówiąc - nie ma w standardowym wyposażeniu zestawu. Emulator przełącza się automatycznie na zasilanie z układu, gdy wykryje brak zasilania zewnętrznego. Trzeba jednak wtedy zagwarantować możliwość dodatkowego obciążenia zasilacza uruchamianego układu prądem 220 mA przy 3,3 V lub 120 mA przy 5,5 V. Wszystkie połączenia systemu uruchomieniowego (rys. 2) powinny być wykonane przed uruchomieniem programu AVR Studio. Możliwe wówczas będzie automatyczne wykrywanie mikrokontrolera zastosowanego w uruchamianym urządzeniu. Automatycznie też jest wykrywany port szeregowy współpracujący z emulatorem.

Czy to już koniec?

Opisywany powyżej system, składający się z emulatora JTAG ICE i programu AVR Studio, sprawia wrażenie bardzo nowoczesnego, zapewniającego duży komfort pracy z nadzieją, że wystarczy na kilka lat. Jednak uwzględniając szybkość wprowadzania innowacji przez firmę Atmel, byłbym ostrożny w wydawaniu takich opinii. Godne pochwały jest to, że producent podzespołów, niemal równoległe z wprowadzaniem najnowszych produktów, oddaje klientowi niezbędne do ich uruchamiania narzędzia. Jak sięgnąć pamięcią, bywały firmy o podobnym profilu, które mając nie najgorszy produkt, nie sprostały konkurencji na skutek braku przekonania do niego klientów. A przecież najłatwiej to zrobić, zapewniając odpowiednie wsparcie techniczne. W naszej branży jest to przecież skuteczniejsze, niż najbardziej wymyślne slogany reklamowe.

Jarosław Doliński, AVT
jaroslaw.dolinski@ep.com.pl

Dodatkowe informacje

Prezentowany w artykule zestaw udostępniła redakcji firma JM Elektronik, tel. (32) 339-69-01, www.jm.pl.

Na płycie CD-EP8/2002B publikujemy dwie wersje programu AVR Studio: 3.54 i 4.0.