

Zaawansowane technologie w nowoczesnych układach sterowania

Leszek A. Szalek
Cito Systems, Inc.
3940 Freedom Circle, Santa Clara, CA 95054, USA
leszeks@citosys.com

1. Wstęp

Postępujący rozwój technologii półprzewodnikowej i doskonalenie narzędzi programowania dla programowalnych układów logicznych typu FPGA umożliwiają wysoki stopień integracji układów sterujących. Dotychczasowe rozwiązania realizowane na kilku płytkach elektronicznych można obecnie zastąpić jednym układem scalonym o dużo większych możliwościach obliczeniowych. Współczesne układy FPGA, które do niedawna były wykorzystywane do budowania rozwiązań prototypowych, obecnie są wykorzystywane w docelowych produktach. Dzięki obniżce kosztów i stosunkowo łatwej integracji możliwe jest budowanie wieloprocesorowych systemów (ang. System-on-Chip – SoC) na jednej płytce krzemu. Ostatnio wspomniane rozwiązania zaczynają znajdować zastosowanie również w systemach sterujących, których istotnym wymogiem jest realizacja algorytmów w czasie rzeczywistym. Jest to możliwe dzięki właściwej im elastyczności, wydajności, programowej zmianie konfiguracji, niezawodności sprzętowej i równoległości struktur. Układy FPGA umożliwiają budowanie systemów cyfrowych do konkretnych potrzeb, łącząc zalety rozwiązań sprzętowych przystosowanych do specyficznych zastosowań z elastycznością oprogramowania.

2. Struktura systemów sterowania

Systemy sterowania złożone z wielu modułów oparte są na magistralach typu PC/104, VME, Compact PCI lub PCI Express. Najczęściej składają się z jednego modułu mikroprocesorowego i dodatkowych modułów funkcyjnych. Moduł mikroprocesorowy odpowiada za interfejs użytkownika i ogólne zarządzanie systemem. Do tego celu wykorzystywany jest mikroprocesor ogólnego zastosowania (CPU), który obsługuje system operacyjny, najczęściej czasu rzeczywistego, np. VxWorks, QNX, Linux, Windows CE lub inny. Natomiast moduły funkcyjne realizują specjalizowane funkcje, np. obliczanie algorytmów pętli sterowania i optymalizacji, kinematyki robotów, zaawansowanych filtrów, transformaty

Fouriera, syntezy mowy, przetwarzania obrazów, etc. najczęściej wykorzystując specjalizowane procesory do cyfrowej obróbki sygnałów (ang. digital signal processor - DSP). Takie systemy w niektórych zastosowaniach mogą okazać się zbyt duże jeśli chodzi o gabaryty, jak i zużycie mocy. Dodatkowo wprowadzają ograniczenia komunikacyjne w przesyłaniu sygnałów między modułami wynikające ze zbyt niskiego pasma magistral systemów.

3. Nowoczesne rozwiązania w systemach sterowania

Rozwiązaniem usuwającym powyższe niedogodności jest zintegrowanie jednostki CPU i jednostek DSP wraz z układami interfejsów komunikacyjnych i cyfrowych na jednej strukturze krzemu. Stało się to możliwe dzięki odpowiednio dużym strukturom układów FPGA wspartych narzędziami umożliwiającymi programowanie w nich struktur procesorów CPU i DSP, z wykorzystaniem dodatkowych bibliotek do programowania układów komunikacji. Obecnie popularnymi procesorami CPU jest rodzina procesorów ARM. Wiodący producenci układów FPGA - firmy Altera, Xilinx, Atmel, dostarczają gotowe rozwiązania w oparciu o licencję procesorów ARM. Jest to ułatwienie dla producentów systemów gdyż nie muszą martwić się o opłaty licencyjne wynikające z własności intelektualnej. Kolejnym krokiem integracji jest umieszczenie szybkich koprocessorów matematycznych lub samych DSP na tej samej strukturze krzemu. Narzędzia programowania dostarczane przez producentów układów FPGA umożliwiają integrację wymaganej przez system liczby procesorów liczących. Rezultatem jest system złożony z wielu równoległe pracujących jednostek DSP. Przy odpowiedniej definicji zadań na poszczególne jednostki otrzymuje się system o ogromnych możliwościach obróbki sygnałów.

W przeciwieństwie do systemów mikroprocesorowych, które przetwarzają seryjnie ciąg instrukcji i używają rejestrów o stałej długości, układy FPGA są macierzą konfigurowalnych elementów logicznych pracujących niezależnie i współbieżnie. Tego typu architektura może prowadzić do znaczącej poprawy możliwości systemów sterujących, często przy niższych kosztach. Ostatnio robione testy systemów wykorzystujących układy FPGA przez firmę Berkeley Design Technology Inc. wykazały, że pobierają one mniej mocy i są tańsze w przeliczeniu na jednostkę przetwarzania sygnałów niż te, które wykorzystują mikroprocesory. Dodatkowymi elementami, które czynią układy FPGA atrakcyjnym rozwiązaniem w systemach sterowania są wbudowane generatory, zegary, podukłady modulacji szerokości impulsu (PWM), interfejsy komunikacji szeregowej typu USB, I²C, PCI Express, Ethernet i inne.

Ważnym czynnikiem ułatwiającym implementację układów FPGA jest obecnie łatwość ich programowania. Dotychczasowe narzędzia programowania były przystosowane przede wszystkim dla projektantów układów cyfrowych posługujących się językiem VHDL lub innymi językami opisowymi do programowania sprzętu, różniącymi się składniowo i koncepcyjnie od tych, którymi posługują się projektanci systemów sterowania. Drugim istotnym czynnikiem nie sprzyjającym wykorzystaniu układów FPGA była trudność włączenia ich do procesu symulacji systemów. Wspomniane powyżej przeszkody zniknęły z chwilą, gdy typowe aplikacje do projektowania i symulacji systemów sterowania – Matlab i LabVIEW udostępniły w swoich środowiskach narzędzia do programowania układów FPGA. Stworzyły one wyższy poziom abstrakcji stanowiący pomost pomiędzy inżynierem projektującym system a sprzętem najlepiej nadającym się do jego implementacji.

Łatwość posługiwania się wspomnianymi programami wynika z udostępnienia intuicyjnych graficznych narzędzi. Projektant wykorzystuje ikony odpowiadające elementom systemu sterowania, łącząc je w logiczny diagram reprezentujący obwody układu FPGA. Graficzne środowisko pozwala na łatwe obrazowanie i implementacje równoległości procesów, co stanowi istotną przewagę programowalnych układów logicznych nad procesorami, poprzez odzwierciedlanie kodu w równoległych odgałęzieniach. Ponadto, język graficzny bardziej intuicyjnie ilustruje przepływ danych przy pomocy linii łączących niż instrukcje języka programowania.

4. Rozwiązania alternatywne

Należy wspomnieć, że programowalne układy logiczne mają alternatywę w postaci procesorów produkowanych przez firmy IBM i Nvidia. IBM, przy współpracy firm Toshiba i Sony, zrealizował na potrzeby tej ostatniej procesor Cell Broadband, który ma wbudowany procesor PowerPC pełniący rolę CPU i osiem jednostek DSP. Zoptymalizowana struktura połączeń między pamięcią a wewnętrznymi mikroprocesorami z umiejętnym wykorzystaniem technik programowania równoległego daje ogromne możliwości obliczeniowe. W chwili obecnej IBM ostrożnie otwiera ten procesor na szerszy rynek. Pierwszą, i jak na razie, najważniejszą aplikacją, dla której ten procesor został zaprojektowany, jest stacja gier Sony – Playstation 3. Ponadto jest on najczęściej wykorzystywany w superkomputerach i serwerach. W dalszej perspektywie IBM planuje produkcję tego procesora w technologii 65 nm i 45 nm,

aby zmniejszyć pobór mocy i udostępnić go dla systemów zabudowanych (ang. embedded systems), czego konsekwencją będzie obniżenie ceny. Wtedy będzie możliwe wykorzystanie tego procesora do celów sterowania. Firma Nvidia przyjęła bardziej otwartą strategię niż IBM wypuszczając na rynek serię procesorów z rodziny Tesla, które są powszechnie używane w kartach graficznych. W zależności od wersji, procesory Tesla mają do 256 wbudowanych jednostek procesorów graficznych (GPU – Graphical Processing Unit), pracujących równolegle. Zaprojektowane na potrzeby grafiki komputerowej, idealnie nadają się do przekształceń macierzowych, dostarczając tym samym ogromnych możliwości obliczeniowych również dla innych aplikacji, między innymi sterowania skomplikowanymi obiektami.

5. Zastosowania

Dostępność i wybór jednostek procesorowych zróżnicowanych architektonicznie i cenowo, o dużych mocach obliczeniowych, umożliwia praktyczną realizację bardzo zaawansowanych układów sterujących.

Znajdują one zastosowanie w sterowaniu skomplikowanymi urządzeniami łączącymi systemy zrobotyzowane o różnych konfiguracjach kinematycznych z systemami przetwarzania obrazów i różnorodnych sensorów. Coraz to nowe gałęzie przemysłu zaczynają wykorzystywać tego typu urządzenia. Do tradycyjnie wysoce zrobotyzowanych dziedzin produkcji, jak np. przemysł samochodowy i półprzewodnikowy, dołącza przemysł lotniczy, spożywczy, urządzeń i robotów medycznych.

Podbój kosmosu i rozszerzanie technologii wojskowej na przestrzeń kosmiczną wymagają coraz bardziej zaawansowanych, a jednocześnie bardzo małych i tanich systemów sterujących w raketach i satelitach. Ponadto wykorzystuje się roboty do badań np. powierzchni Marsa, budowy międzynarodowej stacji kosmicznej, instalacji i serwisu teleskopów pracujących w przestrzeni. W ostatnich latach rząd amerykański sponsoruje liczne programy badawcze nad różnymi zastosowaniami systemów zrobotyzowanych. Do bardziej znaczących można zaliczyć wyścigi autonomicznych pojazdów samochodowych w terenie i ruchu ulicznym, z których każdy zakończył się sukcesem w dużej mierze dzięki dostępnej technologii.

Są to tylko nieliczne przykłady ilustrujące potencjalne zastosowanie nowoczesnych systemów sterowania.

6. Podsumowanie

Przedstawione powyżej możliwości sprzętowe i programowe otwierają różne opcje do realizacji układów sterujących. Mimo dostępności narzędzi programowania dla układów FPGA, projektowanie systemu z wykorzystaniem tych układów wymaga od projektantów bardzo dobrej znajomości ich architektury. Należy zwrócić szczególną uwagę na dokładne zaprojektowanie magistral łączących wewnętrzne struktury procesorów, pamięci, układów wejścia-wyjścia i komunikacji z układami zewnętrznymi. Ostatecznie cała struktura powinna być zoptymalizowana pod kątem połączeń zewnętrznych. Aplikacje wykorzystujące dostępne procesory mają tę przewagę, że bazują na gotowych rozwiązaniach dostarczonych przez producentów. Skraca to prace badawczo-rozwojowe, jednakże uniemożliwia zmiany wewnętrznych struktur układu. Ponadto, jak na razie, nie ma na rynku narzędzi projektowania układów sterowania pozwalających na ich graficzne programowanie z wykorzystaniem wspomnianych procesorów. Tak więc wybór jednostki obliczeniowej zależy od doświadczenia zespołu i założeń projektowych systemu. Zarówno jedno, jak i drugie rozwiązanie dostarcza dużych możliwości obliczeniowych pozwalając na realizację zaawansowanych systemów sterowania.