

mgr inż. Janusz Hawryluk
Przemysłowy Instytut
Automatyki i Pomiarów MERA-PIAP
Warszawa

ZASTOSOWANIE MASZYN HYBRYDOWYCH I PERSPEKTYWY ROZWOJU HYBRYDOWEJ TECHNIKI OBLICZENIOWEJ

1. Wstęp

Obliczenia hybrydowe wiążą się z wykorzystaniem w jednym procesie obliczeniowym technik właściwych zarówno maszynie cyfrowej, jak i maszynie analogowej. Wymaga to użycia maszyny lub systemu maszyn, których pewne elementy działają w sposób właściwy maszynom cyfrowym, a inne w sposób właściwy maszynom analogowym. Taką maszynę lub system nazywamy maszyną hybrydową lub systemem hybrydowym.

Wzajemne proporcje części analogowej i cyfrowej mogą być bardzo różne, poczynając od maszyny analogowej, wyposażonej jedynie w nieliczne elementy cyfrowe, poprzez tzw. zrównoważone systemy hybrydowe (w których sprzężone są ze sobą: uniwersalna maszyna cyfrowa i maszyna analogowa, a każda z nich jest zdolna do autonomicznej pracy) aż do maszyny cyfrowej, wyposażonej jedynie w nieliczne elementy analogowe.

W pobliżu tej dolnej granicy złożoności znajduje się maszyna WAT 1001. Dokładną charakterystykę tej maszyny podano w jednym z następujących artykułów niniejszego cyklu, poświęconego stosowaniu hybrydowej techniki obliczeniowej w Laboratorium Obliczeń i Modelowania MERA-PIAP.

Ponieważ zastosowanie technik, zarówno analogowej jak i cyfrowej, ma swoje zalety i wady, pożyteczne będzie podanie cech charakterystycznych każdej z nich [1].

2. Technika analogowa

1. Zmienne zależne występują w maszynie w postaci funkcji ciągłych.
2. Dokładność obliczeń ograniczona przez jakość elementów elektronicznych

nie przekracza zazwyczaj 0,01 %.

3. Równoległa realizacja operacji jest związana z równoczesnym działaniem wszystkich elementów.
4. Odznacza się dużą szybkością działania nie związaną ze złożonością rozwiązywanego problemu, lecz jedynie z szerokością pasma przenoszenia układów elektronicznych.
5. Cechuje ją efektywne wykonywanie takich operacji jak mnożenie, dodawanie, całkowanie i generacja funkcji nieliniowych oraz nieefektywna realizacja operacji logicznych, pamiętania danych numerycznych, dużych opóźnień oraz obróbki danych nienumerycznych.
6. Technika programowania polega głównie na zastępowaniu poszczególnych elementów badanego układu fizycznego przez analogowe elementy maszyny, mające te same charakterystyki przenoszenia.
7. Możliwe jest włączenie do modelu zrealizowanego w maszynie i odwzorowującego badany system rzeczywistych elementów tego systemu.
8. Daje możliwość bezpośredniego eksperymentowania badacza z modelem zrealizowanym w maszynie przez manipulowanie elementami nastawczymi maszyny.

3. Technika cyfrowa

1. Wszystkie dane występują w formie skwantowanej i dyskretniej.
2. Szeregowo wykonywanie operacji oznacza, że w każdej chwili wykonywana jest tylko jedna operacja lub w najlepszym razie ograniczona liczba takich operacji.
3. Dokładność obliczeń jest praktycznie niezależna od jakości elementów i określona przez liczbę bitów słowa maszynowego oraz przez wybór algorytmu obliczeń.
4. Szybkość obliczeń jest stosunkowo niewielka i uzależniona od złożoności rozwiązywanego problemu.
5. Daje możliwość polepszania dokładności kosztem czasu obliczeń.
6. Pozwala na wykonywanie bardzo ograniczonej liczby operacji, a w szczególności dodawania i mnożenia. Bardziej złożone operacje, takie jak całkowanie i różniczkowanie, wymagają stosowania metod aproksymacji.
7. Stwarza możliwość nieograniczonego pamiętania danych numerycznych i nienumerycznych.

8. Cechuje ją łatwość wykonywania operacji logicznych i decyzyjnych przy wykorzystaniu danych zarówno numerycznych, jak i nienumerycznych.
9. Pozwala na wykonywanie tzw. działań zmiennoprzecinkowych, co rozwiązuje problem skalowania.
10. Technika programowania zazwyczaj odseparowuje badacza od rozpatrywanego problemu inżynierskiego.
11. Stwarza możliwość automatycznej kontroli i zmiany biegu obliczeń na podstawie częściowych wyników obliczeń.

Z powyższych charakterystyk wynika, że techniki analogowe i cyfrowe mogą się wzajemnie uzupełniać, czego przykładem są maszyny hybrydowe. Dzięki tym możliwościom łączą one dużą szybkość maszyny analogowej z jednej strony z dokładnością maszyny cyfrowej z drugiej. Dodatkową zaletą zastosowania obu technik jest łatwość przetwarzania danych, które częściowo mają charakter ciągły, częściowo zaś dyskretny, oraz łatwość włączenia do modelu rzeczywistych elementów badanego systemu.

Dzięki powyższym właściwościom maszyn hybrydowych używa się do symulacji działania układów fizycznych, zazwyczaj w celu zbadania wpływu zmian wartości parametrów lub struktury na zachowanie się układu oraz do optymalizacji, a także do analizy i redukcji danych eksperymentalnych, otrzymanych w trakcie badań urządzeń lub systemów biologicznych.

Technika hybrydowa jest szczególnie przydatna do symulacji działania układów, których częścią składową jest maszyna cyfrowa. Ponieważ takich układów we współczesnym świecie jest coraz więcej, rośnie więc liczba zastosowań maszyn hybrydowych. Najgłośniejsze zastosowania techniki hybrydowej dotyczyły symulacji funkcjonowania pojazdów kosmicznych, a szczególnie problemów współdziałania pilota z pojazdem. Tradycyjnie już symulatory używane do treningu pilotów były budowane przy użyciu maszyny analogowej ze względu na wymagane prędkości działania tych urządzeń, wynikające z konieczności pracy na bieżąco. Ponieważ jednak na pokładzie statku kosmicznego znajduje się maszyna cyfrowa, której działanie również trzeba symulować, oraz ze względu na czas trwania symulowanych podróży, które muszą odbywać się w rzeczywistej skali czasu, co stawia bardzo wysokie wymagania na pełzanie parametrów elementów analogowych, konieczne było użycie techniki hybrydowej.

Innymi dziedzinami zastosowań maszyn hybrydowych są symulacje procesów przypadkowych, związanych na przykład z przypadkowymi zmianami wartości parametrów lub pobudzeń, problemy optymalizacji tych procesów czy symulacji działania układów o parametrach rozłożonych, opisywanych równaniami różniczkowymi cząstkowymi. W tym ostatnim przypadku konieczna jest duża prędkość rozwiązywania równań różniczkowych, którą zapewnia część analogowa maszyny hybrydowej, a jednocześnie zachodzi potrzeba zapamiętywania dużej liczby danych, realizowana z kolei przez część cyfrową maszyny.

Podstawowa różnica między maszyną cyfrową i analogową a w znacznej mierze hybrydową leży w tym, że ta pierwsza jest urządzeniem bardzo uniwersalnym, natomiast dwie pozostałe mają charakter urządzeń specjalizowanych, które znajdują miejsce w laboratoriach naukowych lub przemysłowych. Z tego względu należy być ostrożnym w ocenianiu lub porównywaniu efektywności każdego z tych urządzeń. Jeśli czołowy producent maszyn hybrydowych, firma Electronic Associates, Inc., podaje, że jej nowy produkt - rodzina maszyn hybrydowych PACER ma efektywność (liczoną jako stosunek wydajności do ceny) stokrotnie wyższą od efektywności maszyn cyfrowych, to być może jest to słuszne pod warunkiem, że zapewnimy wykorzystanie maszyny hybrydowej - specjalistycznego urządzenia wymagającego personelu, a przede wszystkim programistów o bardzo wysokich kwalifikacjach - przez całą dobę, co w przypadku maszyny cyfrowej nie stanowi trudności. Poza odpowiednim personelem, problemem staje się tu również zapewnienie odpowiedniej liczby zadań do rozwiązywania. Aby obciążyć w pełni i w sposób rozsądny maszynę hybrydową o dużej mocy obliczeniowej, trzeba centrum badawczego o wielkim programie badań.

Jednakże z punktu widzenia użytkownika, który zastanawia się nad wyborem maszyny do rozwiązania swoich zadań, istotne jest jedynie jak pracochłonne i kosztowne jest użycie każdego wariantu w jego przypadku. Ocenic to można na następującym przykładzie [2].

Przy badaniu procesu katapultowania pilota z samolotu odrzutowego przy różnych gęstościach powietrza (wysokość lotu) i przy różnych szybkościach samolotu stwierdzono następujące różnice:

	maszyna cyfrowa	maszyna hybrydowa
Czas programowania	1 godzina	3 godziny
Czas liczenia jednego wariantu	13 minut	1 minuta
Koszt liczenia 1 wariantu	43 dolary	1,4 dolara

Wynika stąd, że jeśli liczba liczonych wariantów jest niewielka, to maszyna cyfrowa może być korzystniejsza dzięki sprawniejszemu programowaniu, natomiast przy dużej liczbie wariantów zdecydowaną wyższość wykazuje maszyna hybrydowa. Można to uznać za podstawowe kryterium wyboru każdej z tych maszyn.

Zakładając, że rozwój technologii doprowadzi do znacznego zwiększenia prędkości maszyn cyfrowych, można przyjąć, że w przyszłości - dzięki swej uniwersalności i dokładności - odgrywać one będą jeszcze bardziej dominującą rolę. Jednakże obecnie nadal istnieje szeroki zakres problemów, które znacznie efektywniej można rozwiązać przy użyciu maszyn hybrydowych. Dotyczy to w pierwszym rzędzie badań dynamiki układów ciągłych.

Literatura

- [1] Bekey G.A.: Hybrid computation J. Wiley, New York 1968.
- [2] Oriowski H., Hawryluk J.: Modelowanie cyfrowe. WNT, Warszawa 1971.