

Norbert SCZYGIOL, Grzegorz SZWARC
Instytut Mechaniki i Podstaw Konstrukcji Maszyn
Politechnika Częstochowska

ZASTOSOWANIE TECHNIKI OBIEKTOWEJ DO MODELOWANIA ZAGADNIENŃ PRZEPLYWU CIEPŁA METODĄ ELEMENTÓW SKOŃCZONYCH

Streszczenie. Technika obiektowa jest nowoczesną metodą tworzenia oprogramowania. Jest ona szczególnie przydatna do tworzenia i testowania modeli oraz rozwiązań w symulacji zjawisk i procesów fizycznych. W pracy przedstawiono zastosowanie techniki obiektowej do modelowania przepływu ciepła. Zadanie rozwiązano numerycznie stosując metodę elementów skończonych. Omówiono obiekty składające się na program do symulacji przepływu ciepła, a także pewne charakterystyczne cechy i metody techniki obiektowej.

APPLICATION OF OBJECT-ORIENTED TECHNOLOGY TO HEAT TRANSFER MODELLING BY THE FINITE ELEMENT METHOD

Summary. Object-oriented programming is up-to-date method of software development. It is especially suitable for development and testing of models and solutions in simulation of physical phenomena and processes. In the work application of the object-oriented technology for modelling of heat transfer has been presented. For numerical solution of the problem the FEM has been employed. Objects constituting the program for heat transfer simulation and some characteristic features and methods of the object-oriented technology have been discussed.

ПРИМЕНЕНИЕ ОБЪЕКТНОЙ ТЕХНИКИ ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРОБЛЕМ ТЕПЛОПЕРЕНОСА ПРИ ПОМОЩИ МЕТОДА КОНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

Резюме. Объектная техника это новейший метод создания вычислительных программ. Она особенно пригодна для создания и тестировки моделей и решений во время моделирования явлений и физических процессов. В работе представлено применение объектной техники для моделирования теплопереноса. Проблему решены применяя вычислительной метод конечных элементов. Обсуждено объекты входящие в состав программы для моделирования теплопереноса, а тоже некоторые характеристические свойства и методы объектной техники.

1. WSTĘP

Programowanie obiektowe jest nowoczesną metodą tworzenia oprogramowania. W podejściu konwencjonalnym programy tworzone są od zera lub z bardzo niewielkim wykorzystaniem procedur pochodzących z wcześniejszych programów. Wynika to z tego, że programy służą najczęściej do rozwiązywania specyficznych zadań i stąd łatwiej napisać jest nowe procedury niż przekształcić już istniejące. Podstawową przyczyną zachodzącego obecnie gwałtownego rozwoju techniki obiektowej jest dążenie do osiągnięcia większej efektywności i przejrzystości budowy programów komputerowych przy jednoczesnym zagwarantowaniu wyższego bezpieczeństwa danych [1,2,3]. Każdy nowo zdefiniowany typ danych zostaje związany z procedurami, które jedynie uprawnione są do zmiany ich wartości. Takie połączenie danych i procedur na nich operujących tworzy w obiektowych językach programowania typ danych zwanych obiektami. Dane (zmienne) w obiektach nazywa się polami, natomiast procedury metodami. Wzrost efektywności, w porównaniu do programowania strukturalnego, następuje poprzez tzw. dziedziczenie. Można w ten sposób zbudować hierarchię obiektów, dziedziczących kolejno po sobie pola i metody. W obiektach dziedziczących można dodawać nowe pola i metody. Istnieje także możliwość przykrywania metod już istniejących nowymi. Ponadto można używać jednakowych nazw dla podobnie działających metod występujących w różnych obiektach, co pozwala na ujednoczenie nazewnictwa [4,5].

W miarę budowania i gromadzenia coraz to nowych obiektów tworzenie programów zaczyna polegać na składaniu ich z istniejących obiektów. Technika obiektowa jest szczególnie przydatna do tworzenia gotowego oprogramowania, ale także do testowania różnych modeli i rozwiązań w symulacji konkretnych zjawisk, np. przepływu ciepła.

W pracy przedstawiono zastosowanie techniki obiektowej do modelowania zagadnień przepływu ciepła. Do numerycznej realizacji zadania zastosowano metodę elementów skończonych. Omówiono obiekty składające się na program służący do symulacji przepływu ciepła, a także pewne charakterystyczne cechy techniki obiektowej wykorzystane w niniejszej pracy.

2. MATEMATYCZNY OPIS PROBLEMU I JEGO ROZWIĄZANIE METODĄ ELEMENTÓW SKOŃCZONYCH

Przewodzenie ciepła opisane jest następującym równaniem:

$$\nabla \cdot (\lambda \nabla T) = c \rho \partial T / \partial t, \quad (1)$$

gdzie λ jest współczynnikiem przewodności cieplnej, c jest ciepłem właściwym i ρ jest gęstością. Równanie to uzupełnia się warunkiem początkowym, dotyczącym rozkładu temperatury w rozważanym obszarze Ω w chwili czasu $t = 0$ oraz jednym lub kilkoma z następujących warunków brzegowych [6]:

- 1) pierwszego rodzaju (Dirichleta), na brzegu Γ zadana jest temperatura (T_s)

$$T = T_s, \quad (2)$$

- 2) drugiego rodzaju (Neumanna), na brzegu Γ zadany jest strumień ciepła (q_s)

$$q = q_s, \quad (3)$$

- 3) trzeciego rodzaju (Robina), na brzegu Γ następuje wymiana ciepła z otoczeniem

$$q = \alpha(T - T_{ot}), \quad (4)$$

gdzie α jest współczynnikiem wymiany ciepła z otoczeniem, T jest temperaturą ciała na brzegu Γ i T_{ot} jest temperaturą otoczenia; q oznacza strumień ciepła wpływającego ($T < T_{ot}$) do obszaru Ω lub wypływającego ($T > T_{ot}$) z obszaru Ω ,

- 4) czwartego rodzaju (ciągłości), na brzegu Γ następuje styk dwóch obszarów

$$\lambda_1 \frac{\partial T_1}{\partial n} = \lambda_2 \frac{\partial T_2}{\partial n}, \quad (5)$$

Stosując metodę elementów skończonych i dokonując semidyskretyzacji równania (1) otrzymuje się

$$KT + MT^* = b, \quad (6)$$

gdzie: K jest macierzą przewodności, M jest macierzą masową, zwaną również macierzą pojemności, T jest wektorem temperatur oraz b jest wektorem źródeł węzłowych, zwanym także wektorem warunków brzegowych. Zdefiniowane są one następująco:

$$K_{mn} = \int_{\Omega} \lambda \varphi_{m,j} \varphi_{n,j} d\Omega, \quad (7)$$

$$M_{mn} = \int_{\Omega} c \rho \varphi_m \varphi_n d\Omega, \quad (8)$$

$$\dot{b}_m = \int_{\Gamma} \varphi_m \lambda T_n n_i d\Gamma, \quad (9)$$

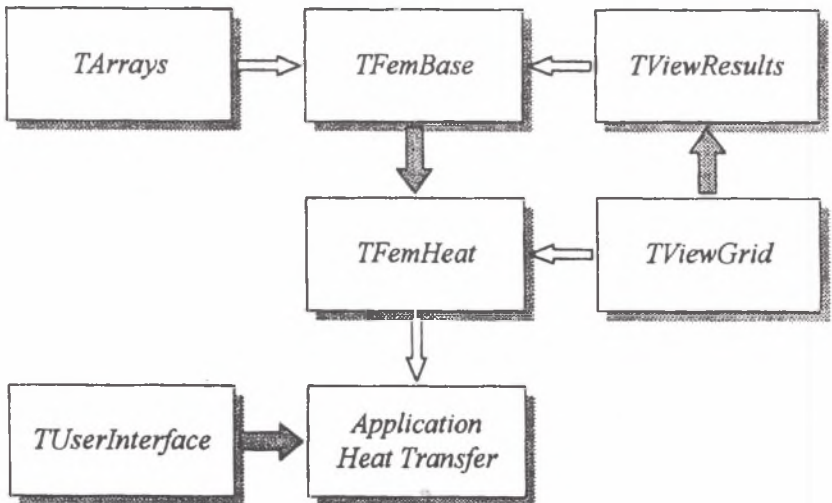
gdzie φ jest funkcją interpolacyjną. Dokonując całkowania równania (6) po czasie, z zastosowaniem metody jednokrokowej θ , otrzymuje się

$$(M^{n+\theta} + \theta \Delta t K^{n+\theta}) T^{n+1} = (M^{n+\theta} - (1-\theta) \Delta t K^{n+\theta}) T^n + (1-\theta) \Delta t \dot{b}^n + \theta \Delta t \dot{b}^{n+1}. \quad (10)$$

Z równania tego, w zależności od przyjętej wartości parametru θ , wyprowadza się jedną z możliwych metod całkowania, a mianowicie explicite, implicite lub Cranka-Nicholsona.

3. HIERARCHIA I OPIS OBIEKTÓW

Program komputerowy symulacji przepływu ciepła napisany z wykorzystaniem techniki obiektowej języka Turbo Pascal, na podstawie modelu przedstawionego w pkt. 2, składa się z sześciu podstawowych obiektów (rys. 1). Obiekt bazowy *TFemBase* korzysta z obiektów *TArrays* i *TViewResults*. Obiekt *TArrays* jest odpowiedzialny za tworzenie tablic dynamicznych. Tworzy on tablice o rozmiarach dostosowanych do wielkości rozwiązywanego zadania. Rozmiar każdej tablicy może być większy od wielkości segmentu pamięci komputera. Obiekt *TViewResults* służy do graficznej prezentacji wyników obliczeń. Ponieważ ma on cechy wspólne z obiektem *TViewGrid*, służącym do przeglądania siatki elementów skończonych oraz warunków brzegowych jest jego potomkiem (obiektem dziedziczącym).



Rys. 1. Hierarchia obiektów (▨ dziedziczenie, ⇨ komunikat)
Fig. 1. Object hierarchy (▨ inheritance, ⇨ message)

Obiekt *TFemHeat* dziedziczy po obiekcie *TFemBase* wszystkie pola i metody, które w połączeniu z jego własnymi polami i metodami pozwalają na realizację obliczeń numerycznych. Korzysta ponadto z obiektu *TViewGrid*. Program oznaczony na rys. 1 jako *Application Heat Transfer* korzysta z obiektu *TFemHeat* oraz dziedziczy komunikację użytkownikiem po obiekcie *TUserInterface*.

3.1. Obiekt bazowy TFemBase

W obiekcie tym zgromadzono pola i metody wspólne dla niemal wszystkich zadań numerycznych rozwiązywanych metodą elementów skończonych. W programie komputerowym obiekt ten nie może występować samodzielnie, ponieważ nie zawiera on wszystkich pól i metod potrzebnych do rozwiązania jakiegokolwiek problemu. Jest więc obiektem abstrakcyjnym. Obiekty dziedziczące własności po *TFemBase* muszą go tak uzupełnić, aby stanowiły w sumie całość rozwiązania.

Obiekt *TFemBase* zawiera siedem metod (rys. 2). Metoda druga sprawdza szerokość pasma macierzy współczynników na podstawie wczytanych (metodą pierwszą) danych i przeprowadza jej optymalizację, polegającą na zmianie numerów węzłów. Metoda trzecia oblicza wymiary pasma, tj. jego szerokość i długość na podstawie liczby stopni swobody dla jednego węzła. Redukowanie wymiarów pasma ze względu na zadane warunki brzegowe realizuje metoda czwarta. Piąta metoda służy do rozwiązywania układu równań, natomiast szósta do zachowania wyników otrzymanych z rozwiązania układu równań z uwzględnieniem wartości dla tych węzłów brzegowych, dla których zredukowano wymiary pasma metodą czwartą. Ponieważ obiekt korzysta z trzech tablic i dwóch wektorów zbudowanych w pamięci dynamicznej, dlatego po zakończeniu wszystkich obliczeń następuje zwolnienie tej pamięci dla innych programów metodą siódmą.

obiekt TFemBase

pola

liczba węzłów i elementów;
liczba węzłów w elemencie i stopni swobody;
szerokość i długość pasma;
czas sumaryczny, krok czasowy;
tablica współrzędnych węzłów;
tablica koneksji;
tablica współczynników macierzy układu równań;
wektor prawych stron układu równań;
wektor niewiadomych układu równań;
obiekt wizualizacji wyników obliczeń;

metody

czytanie geometrii siatki elementów skończonych z dysku;
redukowanie szerokości pasma;
obliczanie wymiarów pasma;
redukowanie wymiarów pasma;
rozwiązywanie układu równań;
zachowanie wyników obliczeń;
zwolnienie pamięci dynamicznej tablic;

Rys. 2. Pseudokod obiektu *TFemBase*
Fig. 2. Pseudo code of object *TFemBase*

3.2. Obiekt *TFemHeat*

Obiekt ten dziedziczy wszystkie własności po obiekcie *TFemBase*. Uzupełnia je o pola i metody charakterystyczne dla problemów przepływu ciepła. Obiekt *TFemHeat* zawiera pięć metod (rys. 3). Warunki brzegowe (wzory (2)-(5)) wczytywane są do tablic metodą pierwszą. Współczynniki macierzy układu równań i wektora prawych stron, dla wybranej metody całkowania po czasie (równanie (10)), obliczane są w metodzie drugiej. Macierz współczynników oraz wektor prawych stron uzupełniane są o zadane warunki brzegowe metodą trzecią. Metoda czwarta realizuje zapis wyników obliczeń na dysk. Metoda piąta uzupełnia metodę siódmą obiektu bazowego (o tej samej nazwie) i zwalnia pamięć dynamiczną zajęta przez tablice warunków brzegowych.

obiekt TFemHeat (dziedziczący po TFemBase)

pola

własności termofizyczne;
tablice warunków brzegowych;
obiekt wizualizacji siatki elementów skończonych;

metody

czytanie warunków początkowych i brzegowych z dysku;
budowanie macierzy współczynników;
wprowadzanie warunków brzegowych;
zapisywanie wyników na dysku;
zwolnienie pamięci dynamicznej tablic;

Rys. 3. Pseudokod obiektu *TFemHeat*
 Fig. 3. Pseudo code of object *TFemHeat*

Ponieważ obiekt wizualizacji siatki elementów skończonych jest zależny od rozwiązywanego problemu, ze względu na sposób przedstawiania warunków brzegowych, został on umieszczony w obiekcie dziedziczącym po *TFemBase*. Obiekt wizualizacji wyników obliczeń jest na tyle uniwersalny, że można go było wstawić do obiektu bazowego.

4. PODSUMOWANIE

W pracy przedstawiono zastosowanie techniki obiektowej do analizy i rozwiązywania zagadnień przepływu ciepła. Przedstawiony tutaj opis można rozszerzyć na dowolny problem inżynierski. Nowy typ zmiennych, jakimi są obiekty, ułatwia podział szerokiej klasy problemów na szczegółowe zadania implementacyjne, wspólne dla wielu z nich. Zbudowane na tej podstawie abstrakcyjne obiekty, nie mogące funkcjonować samodzielnie, dają się wielokrotnie zastosować do budowy programów komputerowych realizujących konkretne problemy inżynierskie. Uzyskuje się w ten sposób dużą elastyczność konstruowania oprogramowania, koncentrując się na dopasowaniu (fragmentów) istniejących obiektów do potrzeb rozwiązywanego problemu.

LITERATURA

- [1] Taylor D.A.: Technika obiektowa. Rzecz o zastosowaniach programowania obiektowego. Wyd. 1. Helion 1994.
- [2] Filho J.S.R.A., Devloo P.R.B.: Object Oriented Programming in Scientific Computations: The Beginning of a new Era. "Engineering Computations", Vol. 8, 1991, s. 81-87.
- [3] Devloo P.R.B., Filho J.S.R.A.: On the Development of Finite Element Program based on the Object Oriented Programming Philosophy. Numerical Methods in Engineering '92, Ch.Hirsch et al. (Editors). 1.Edition. Amsterdam: Elsevier Science Publishers B.V., 1992.
- [4] Zimmermann T., Dubois-Pèlerin Y., Bomme P.: Object-oriented finite element programming: I. Governing principles. "Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering", Vol. 98, 1992, s. 291-303.
- [5] Fenves G.L.: Object-Oriented Programming for Engineering Software Development. "Engineering with Computers", Vol. 6, 1990, s. 1-15.
- [6] Patankar S.V.: Numerical Heat Transfer and Fluid Flow. 1. Edition. Washington: Hemishere Publishing Corporation, 1980.

Recenzent: prof. dr hab. inż. A. Tylikowski

Wpłynęło do Redakcji w grudniu 1994 r.