

SYSTEM EKSPERTOWY W ZAKRESIE OPTIMALNEGO STEROWANIA PROCESAMI O ROZŁOŻONYCH PARAMETRACH

Edward Kącki Zbigniew Filutowicz Andrzej Małolepszy
Instytut Informatyki Politechniki Łódzkiej

1. Wstęp.

Praca dotyczy systemu ekspertowego optymalnego sterowania procesami opisanymi zagadnieniami granicznymi dla równań różniczkowych cząstkowych [2],[14],[15]. Celem badań przeprowadzonych w ramach projektu było stworzenie podstaw dla konstrukcji systemu ekspertowego w zakresie optymalnego sterowania procesami o rozłożonych parametrach wraz z weryfikacją uzyskanych wyników przez opracowanie odpowiednich algorytmów, ich oprogramowanie i uruchomienie oraz dokonanie wstępnych badań eksploatacyjnych. Uzyskane wyniki zostały opublikowane w 12 artykułach naukowych i obejmują one głównie koncepcje dotyczące: 1) konstrukcji modeli matematycznych zjawisk fizycznych i zadań optymalizacji [3],[9]; 2) metod analizy zadań stawianych systemowi [4],[5],[10]; 3) reguł wnioskowania prowadzących od nieformalnych opisów do modeli matematycznych [3],[11]; 4) struktury systemu w obiektowym ujęciu i organizacji dialogu [13]; 5) organizacji obiektowej bazy wiedzy [1],[12]; 6) organizacji systemu pomocy [6],[7]; 7) interpretacji i wizualizacji wyników; 8) akwizycji wiedzy [8] oraz nowych aplikacji.

Omawiany system został opracowany w Instytucie Informatyki Politechniki Łódzkiej i obecnie jest wykorzystywany na zajęciach dydaktycznych ze studentami. Jednocześnie jest w dalszym ciągu rozwijana jego część aplikacyjna.

* Badania zrealizowano w ramach projektu badawczego Nr 885149203 finansowanego w latach 1992-1994 przez Komitet Badań Naukowych.

2. Ogólna charakterystyka systemu.

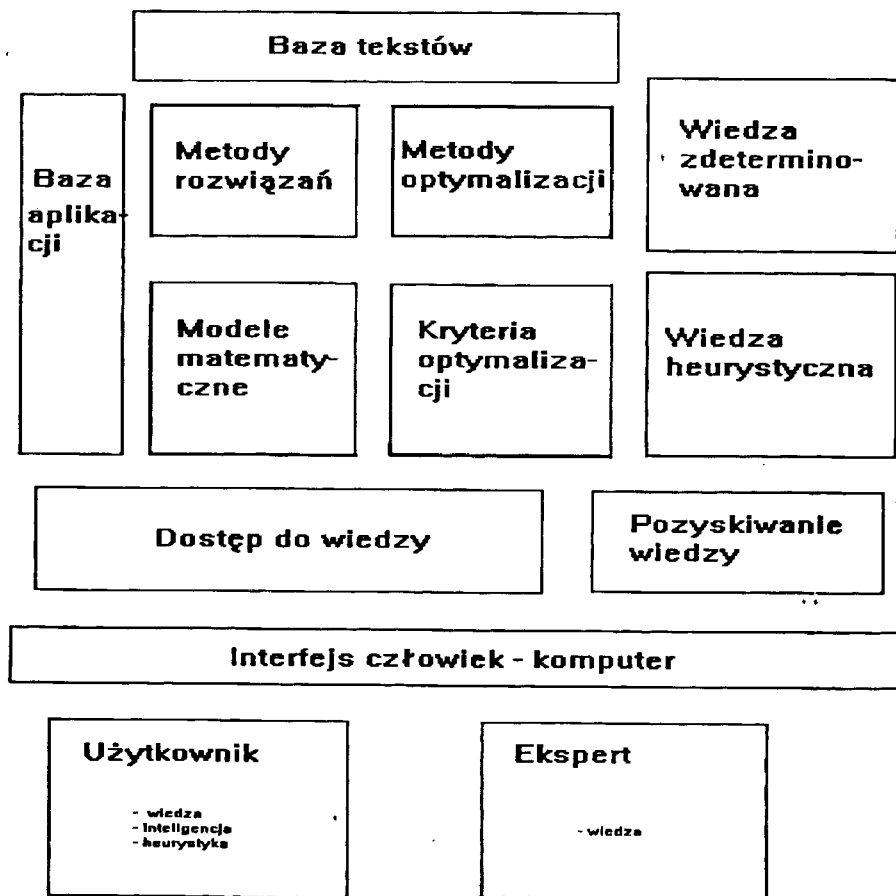
Podstawowym elementem systemu jest baza wiedzy (rys. 2.1), która oferuje w swojej części proceduralnej przede wszystkim modele procesów o rozłożonych parametrach oraz dane dotyczące różnego rodzaju współczynników i charakterystyk, a w części operatywnej - reguły przyporządkowania w/w modeli opisanym na wstępie zjawiskom i warunkom, reguły wyboru metod optymalizacji i odpowiednich algorytmów, reguły formowania wniosków i zaleceń wraz z uzasadnieniem np. dla projektantów systemów sterowania. Zasoby bazy wiedzy umożliwiają maszynie wnioskującej następujące podstawowe działania:

- sformalizowanie opisu procesu wraz z podaniem funkcji celu,
- wybór metody optymalizacji z uzasadnieniem i wyznaczenie optymalnego sterowania,
- interpretację uzyskanych wyników i sformułowanie wniosków z uzasadnieniem.

Dla realizacji wyżej wymienionych zadań w bazie wiedzy wyróżniono następujące moduły: a) projektowania modeli o parametrach rozłożonych, b) formułowania zadań sterowania optymalnego, c) opisu algorytmów analizy modeli i danych niezbędnych w trakcie analizy, d) opisu algorytmów optymalizacji, e) informacji o sposobie pozyskiwania nowej wiedzy dla systemu dotyczącej opisów modeli, zadań optymalizacji oraz metod analizy, f) interpretacji wyników obliczeń i prezentacji graficznej.

System pozyskiwania wiedzy został tak zaprojektowany, aby umożliwić ekspertowi uzupełnianie dowolnego modułu bazy nową wiedzą z wykorzystaniem dedykowanych edytorów. Algorytmy metod są dokumentowane w postaci kodu obiektowo-zorientowanego

języka C++. Zastosowanie obiektowo zorientowanej reprezentacji wiedzy [3] dla potrzeb systemu ekspertowego pozwala na zbudowanie hierarchicznej struktury klas do modelowania i symulacji zadań optymalnego sterowania systemów o parametrach rozłożonych.



Rys. 1. Struktura systemu ekspertowego w zakresie systemów sterowania.

Dekomponowanie zadań sterowania na zbiór szkieletowych klas pozwala na dobre udokumentowanie wiedzy z wybranego zakresu oraz daje możliwość jej modyfikacji zgodnie z potrzebami danego użytkownika.

Powazną rolę w prezentowanym systemie ekspertowym spełnia baza tekstów. Zawiera ona niezbędne informacje dotyczące: inżynierii komunikowania się z systemem i jego modułami, postaci wprowadzanych danych i uzyskiwanych wyników oraz wiedzy teoretycznej związanej z modelowanymi zagadnieniami. Baza tekstów zawiera wiedzę teoretyczną dotyczącą modeli opisanych zagadnieniami granicznymi dla równań różniczkowych cząstkowych w zakresie różnych zagadnień fizyki i techniki np. przewodzenia ciepła, wymiany masy i ciepła, drgań belek. Znaczna część bazy tekstów jest poświęcona metodom rozwiązywania wymienionych zagadnień granicznych oraz problemom teoretycznym formułowania zadań optymalizacji i metod ich rozwiązywania.

Do budowy bazy tekstów wykorzystano HelpCompiler dostępny łącznie z kompilatorem języka C++. Tekst jest podzielony na tematy. Każdy temat stanowi ramkę informacji, którą traktujemy jako podstawową formę prezentowania wiedzy. Może ona zawierać informację w postaci tekstu, wzorów matematycznych lub rysunków statycznych.

Struktura systemu ekspertowego pozwala na przeprowadzenie eksperymentów symulacyjnych dla zadań optymalizacji zagadnień granicznych opisanych równaniami różniczkowymi cząstkowymi. System oprogramowania jest otwarty, to znaczy, że możemy budować aplikacje w oparciu o już istniejącą wiedzę w systemie lub zgodnie z własną wiedzą i doświadczeniem. Dialog użytkownika systemu odbywa się metodą okienek dialogowych i prowadzi do konstrukcji projektu w kodzie źródłowym języka C++. Użytkownik może wprowadzić poprawki bezpośrednio w wersji źródłowej aplikacji i następnie przystąpić do jej kompilacji.

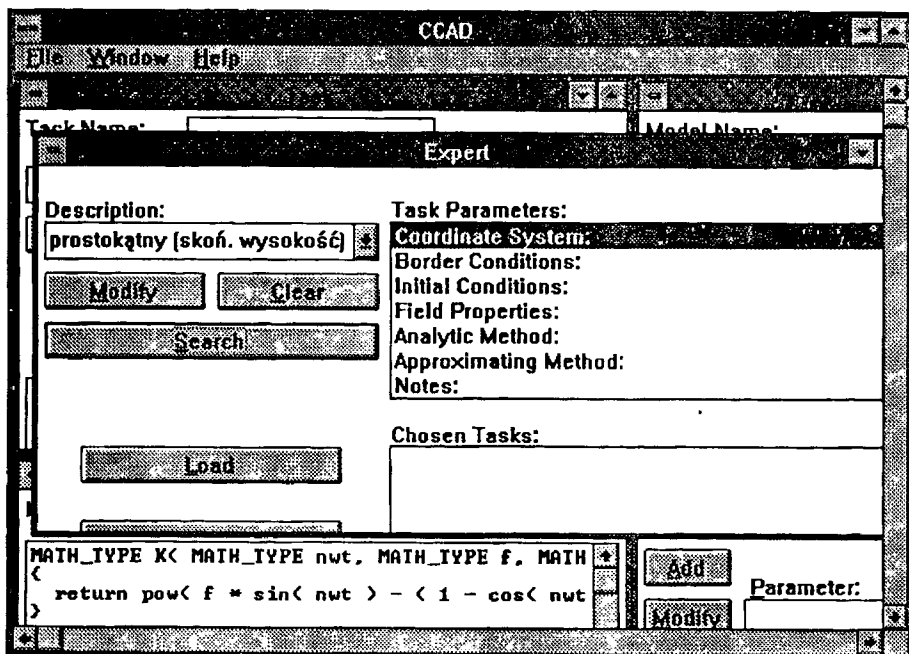
Instalacja systemu CCAD wymaga komputera klasy PC z mikroprocesorem nie gorszym niż 386 DX, 8 MB RAM i około 10 MB wolnego miejsca na dysku twardym. Komputer powinien posiadać zainstalowany system operacyjny DOS wersję 5.0 lub wyższą oraz system Windows 3.1 CE. Do wykorzystania wszystkich możliwości systemu CCAD niezbędna jest instalacja kompilatora Borland C++ wersja 3.1, edytora tekstu Word wersja 2.0c lub wyższa oraz arkusza kalkulacyjnego Excel wersja 4.0 lub wyższa.

3. Opis bazy wiedzy.

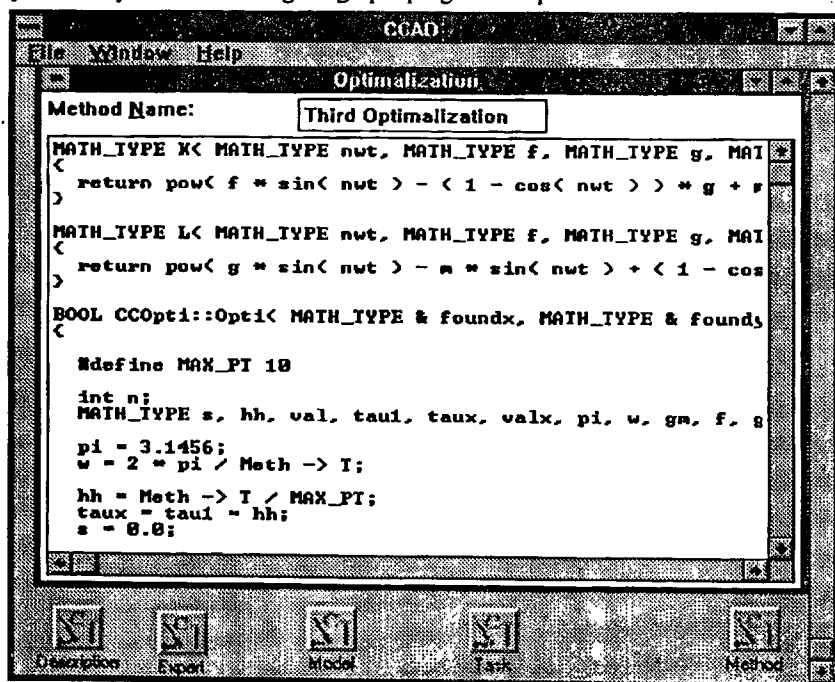
Program eksperta pomaga użytkownikowi dokonać klasyfikacji zagadnienia z wykorzystaniem wiedzy dostępnej w bazie wiedzy. Użytkownik może dokonać powrotu do dowolnego poziomu zbierania bazy faktów przez komputer. Efektem działania programu jest odnalezienie tych wszystkich aplikacji, których treść dotyczy poszukiwanego przez użytkownika zagadnienia obliczeniowego.

Wybór określonej aplikacji powoduje prezentację wiedzy w kilku oknach, dotyczącej opisu fizycznego symulowanego zagadnienia, klasyfikacji, modelu matematycznego oraz informacji o metodzie rozwiązania zagadnień związanych z przykładem. Po wybraniu opcji task z menu głównego komputer dokona niezbędnych wyliczeń i zademonstruje je w formie tabelki w arkuszu kalkulacyjnym lub wykresu. Do informacji związanych z daną aplikacją można wymienić opis danych wyjściowych do obliczeń, opis metody rozwiązania i algorytmu obliczeniowego. Na rys. 3.1 pokazano okno zawierające informacje dotyczące klasyfikacji dowolnego przykładu obliczeniowego. Te informacje znajdują się także w oknie głównym aplikacji, przy czym mogą być w części modyfikowane przez użytkownika. Dotyczy to na przykład wartości parametrów fizycznych dla danego przykładu oraz parametrów metod obliczeniowych, jak dokładność, kroki obliczeń i zbieranych wyników dla celów graficznego zobrazowania.

Innym sposobem wykorzystania systemu ekspertowego jest zaprojektowanie i generowanie własnej aplikacji obliczeniowej w oparciu o wiedzę zawartą w systemie. Działania należy rozpocząć od modułu Expert. Na tym etapie projektowania w dialogu z programem użytkownik buduje bazę faktów dostarczając systemowi informacji o zagadnieniu, które pragnie rozwiązać. Na podstawie bazy reguł zawartych w systemie i informacji dostarczonych przez użytkownika, maszyna wnioskująca dokonuje na podstawie baz wiedzy syntezy aplikacji obliczeniowej, która następnie może modyfikować do swoich potrzeb użytkownik. Modyfikacje te mogą dotyczyć zaproponowanej metody optymalizacji (rys 3.2). W porównaniu z istniejącymi systemami symulacji użytkownik ma zazwyczaj gotowe metody w postaci skompilowanej. Ponieważ w tym systemie przyjęto jako język dokumentowanie metod obiektowo-orientowanych C++, to naturalnym sposobem dostępu do informacji jest jego kod.



Rys. 3.1 Przykład okna dialogowego podprogramu Expert.



Rys. 3.2 Okno edycyjne na etapie ustalania algorytmu obliczeniowego metody optymalizacji

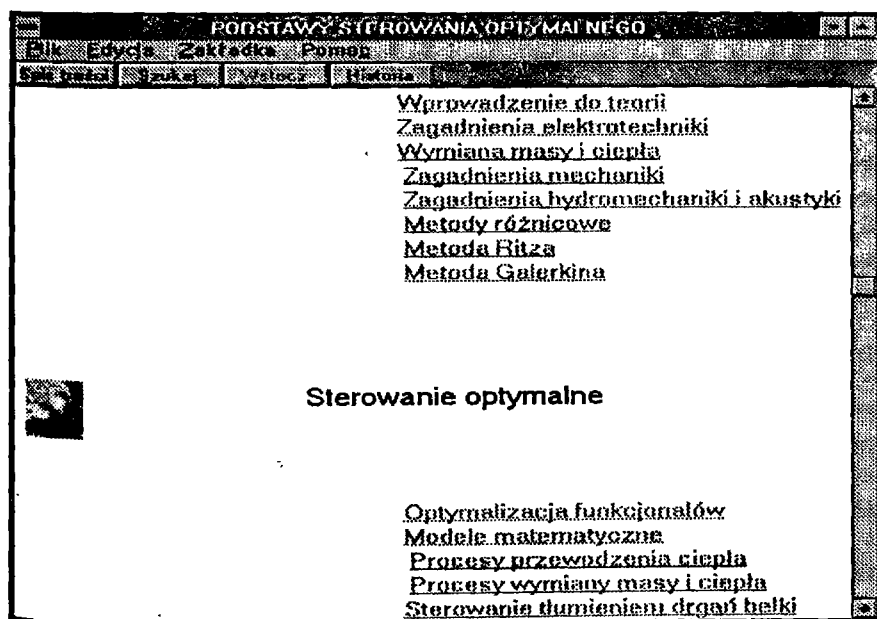
4. Opis bazy tekstów.

Podstawowym zadaniem systemów ekspertowych z dziedziny sterowania jest wspomaganie pracy projektowania, wytwarzania oraz eksploatacji systemów i jest rozległym polem działania dla ekspertów, teoretyków, projektantów i praktyków. Niezwykle ważną dziedziną zastosowania systemów ekspertowych jest również wspomaganie nauczania na studiach inżynierskich, a zwłaszcza podyplomowych. Gotowy system CCAD, wraz z rozwiązaniami określonych zadań przekazuje wiedzę niezbędną dla rozwiązywania zagadnień sterowania optymalnego, poczynając od teorii, poprzez modelowanie matematyczne do interpretacji i uzasadnienia poszczególnych metod i rozwiązań.

Oczywistym jest, że kompletny system ekspertowy wspomagający nauczanie inżynierów powinien dawać możliwości wyjaśnienia założeń, definicji i symboli użytych w czasie procesu ekspertyzy. Ważne jest, by każde znalezione przez system rozwiązanie miało odniesienie do podstaw teoretycznych.

Zasadniczą rolę w powiązaniu teorii z praktyką odgrywa system Help. Jakkolwiek, stanowi on uzupełnienie teoretyczne do zadań rozwiązywanych przez CCAD i został zbudowany w ścisłym połączeniu z tym systemem, może pracować jako samodzielna baza wspomagająca nauczanie w zakresie teorii sterowania optymalnego.

Dla umożliwienia korzystania z wiedzy systemu na każdym etapie rozwiązywania problemu CCAD zawiera informacje zarówno z matematyki stosowanej jak i informatyki. Podstawowe zasoby wiedzy systemu dotyczą modelowania matematycznego, równań różniczkowych cząstkowych, optymalizacji nieliniowej oraz metod numerycznych. Baza tekstów zawiera zatem podstawowe definicje i twierdzenia analizy funkcjonalnej niezbędne do rozwiązywania problemów teorii optymalnego sterowania.



Rys. 4.1 Przykład zbioru zagadnień w systemie bazy tekstów.

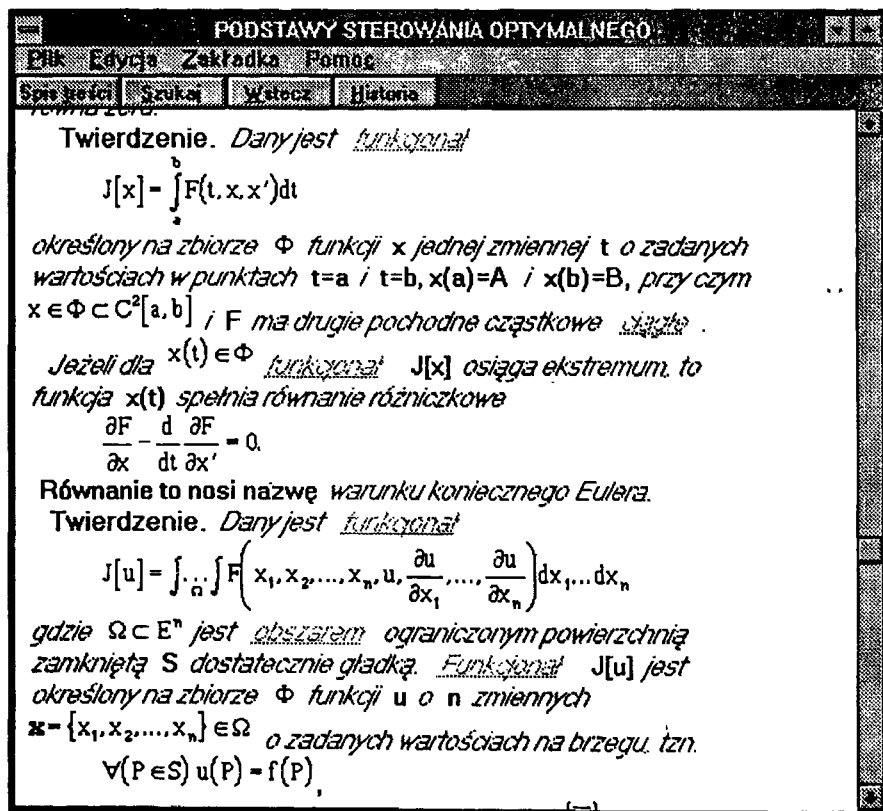
Baza tekstów stanowi dla studentów podstawowe źródło wiedzy dotyczące zagadnień sterowania optymalnego i obejmuje swoim zakresem podstawy teoretyczne, sposoby tworzenia

modeli matematycznych dla określonych zagadnień i metody ich rozwiązywania, a także metody optymalizacji i ich kryteria (rys. 4.1).

Wiedza teoretyczna zawarta w systemie Help jest podzielona na trzy części:

- podstawowe definicje i twierdzenia, związane z teorią równań różniczkowych cząstkowych, metodami numerycznymi i sterowaniem optymalnym,
- równania różniczkowe cząstkowe, ich teoria, metody rozwiązywania, oraz analiza konkretnych przypadków,
- sterowanie optymalne dla określonych problemów, metody optymalizacji nieliniowej, rozwiązywanie konkretnych zagadnień technicznych.

Fragmenty informacji (tematy) zawarte w bazie tekstów tworzą drzewo. Istnieją także powiązania pomiędzy poszczególnymi tematami, tak by pełne wyjaśnienie całego procesu rozwiązywania zadania, łącznie ze sprawdzeniem założeń, wyborem modelu matematycznego i metody rozwiązywania było możliwe [6].



Rys. 4.2 Przykład okna systemu Help, gdzie nazwy podkreślone umożliwiają przejścia hyperlink.

Znalezienie informacji na wybrany temat jest możliwe poprzez hierarchiczne przesuwanie się w głąb danego zagadnienia, bądź też poprzez wykorzystanie słów kluczowych z danej dziedziny oraz skoków, które umożliwiają przeskok w głąb bądź też nawet na zewnątrz

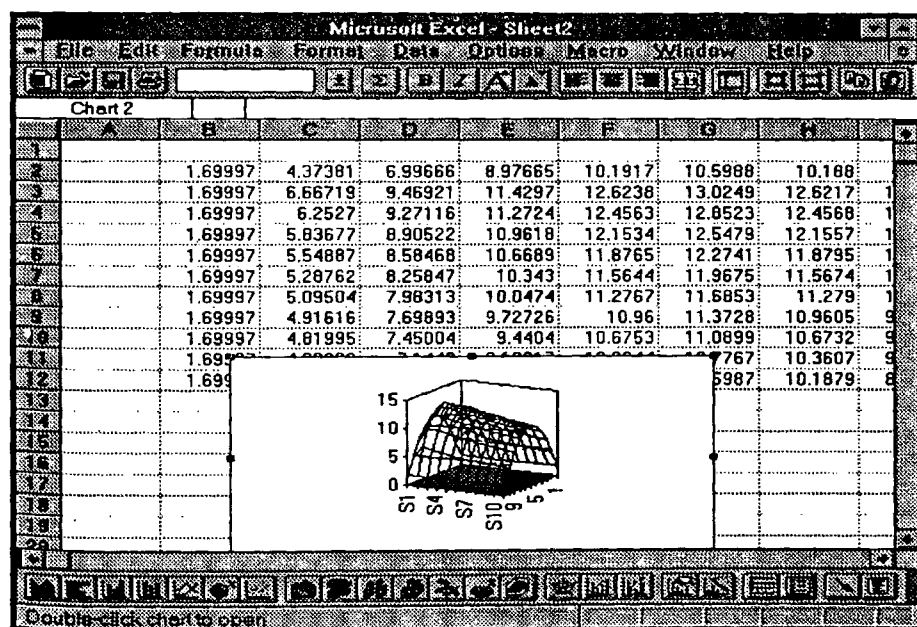
hierarchii. Takie ustawienie do podstawowych pojęć i metod zawartych w bazie tekstów pozwala na szybkie uzyskiwanie odpowiedzi na dręczące studentów pytania i pełne wytłumaczenie wyboru dokonanego przez CCAD w procesie rozwiązywania konkretnych zagadnień (rys. 4.2).

System bazy tekstów, może być uzupełniany o informację uznaną za niezbędną przez użytkowników. System ten może być używany jako część CCAD jak również jako samodzielna aplikacja Windows. Organizacja systemu oparta na słowach kluczowych i połączeniach typu hyperlink pozwala na szybkie znajdowanie potrzebnych tematów i wszelkich związanych z nimi definicji, twierdzeń i założeń.

Innym sposobem wyszukiwania informacji jest dostęp do systemu za pośrednictwem tezausa. Zawiera on wykazy wszystkich tematów i słów kluczowych związanych z danym zagadnieniem.

5. Prezentacja wiedzy obliczeniowej.

Aplikacje obliczeniowe mają wbudowany mechanizm dynamicznej wymiany danych z arkuszem kalkulacyjnym. Wszystkie dane obliczeniowe są wpisywane do tabel w arkuszu kalkulacyjnym (rys 5.1). Wykorzystując program asystenta można w dowolny sposób graficzny interpretować wyniki badań.



Rys. 5.1 Dane obliczeniowe aplikacji są przechowywane w tablicach arkusza kalkulacyjnego.

Uzyskanie wykresów trójwymiarowych jest dogodną formą prezentacji zjawisk opisanych równaniami różniczkowymi cząstkowymi (rys 5.1). Eksponując szereg wykresów trójwymiarowych można obserwować zmiany dynamiczne zachodzące w symulowanych zagadnieniach.

6. Wnioski

Przyjęta struktura konstrukcji systemu pozwala na stwierdzenie, że system posiada mechanizmy stałego jego rozwoju. W pewnym zakresie użytkownik może gromadzić wiedzę w postaci aplikacji obliczeniowych. Rozwiązując zagadnienia system zapamiętuje modyfikacje dokonane w metodach rozwiązania zagadnienia, ich opisy i teksty wykorzystane do opisu całego zadania. Źródłem wiedzy dla użytkownika są takie wykresy zmian parametrów określających stan obiektów o parametrach rozłożonych. Możliwość modyfikacji parametrów zagadnień granicznych dla równań różniczkowych cząstkowych pozwala na optyczną i liczbową ocenę wpływu tych zmian np.: analizę wrażliwości. Baza tekstów stanowi ważny element dostępu do wiedzy zgromadzonej w systemie. Jest ona podzielona tematycznie i dostępna na dowolnym etapie wykorzystania systemu zgodnie z zasadami organizacji hipertekstu. Program Expert wprowadza system klasyfikacji wiedzy zawartej w systemie oraz wspomaga proces tworzenia aplikacji obliczeniowej na podstawie dostępnej wiedzy.

7. Publikacje

- [1] Filutowicz Z., Pietruszka M.: Optimal Control Expert System for Processes with Distributed Parameters. Proceed. of Intern. Conf. on System-Modelling-Control, Zakopane, 1995, Vol. 1, pp.254-258.
- [2] Górecki H.: Optymalizacja systemów dynamicznych. PWN, Warszawa 1993.
- [3] Kački E., Filutowicz Z.: Expert System for Optimal Control of Processes with Distributed Parameters. Inform. Systems Architecture and Technology, Wrocław, 1994, pp.182-191.(red.: M.Bazewicz)
- [4] Kački E., Pietruszka, M., Filutowicz Z.: Finite Element Method in Optimal Control Expert System. Scien. Bull. of ŁTU Informatyka No 3, 1994, pp.123-134
- [5] Kački E., Pietruszka, M.: A Coupled Method Analysis of Field Phenomena in Optimal Control Expert System. Journal of Technical Physics. No 1, 1995, pp.41-48.
- [6] Kački E., Zakrzewska D., Filutowicz Z.: Help Struktura in Optimal Control Expert System. Scien. Bull. of ŁTU Informatyka No 3, 1994, pp. 95-104.
- [7] Kački E., Zakrzewska D.: Help Problems in OCES System. Proceed. of Intern. Conf. on Hypermedia. Vaasa, 1994, pp. 212-215.
- [8] Stempczyńska J., Kački E.: Problem of Knowledge Acquisition Automation. Foun. of Comp. and Dec. Sciences, Vol.19, No 1-2, 1994, pp. 135-144.
- [9] Kački E., Filutowicz Z.: An Expert System for Analysis and Synthesis of Certain Optimal Control System. Proc. of Intern. Conf. on Automation. Hanoi, 1994, pp. 133-136.
- [10] Kački E., Pietruszka M.: O pewnej metodzie symulacji w systemie ekspertowym optymalnego sterowania. Mater. I Warszt. Nauk. PTSK nt. Symulacja w Badaniach i Rozwoju. Mielno, 1994.
- [11] Kački E., Filutowicz Z.: Organizacja pewnego systemu ekspertowego w zakresie optymalnego sterowania. Wspomaganie Decyzji. Systemy Eksperckie. Wyd. Inst. Badań Systemowych, PAN, Warszawa, 1995, ss.294-297.(red.R.Kulikowski i L.Bogdan)
- [12] Kački E., Filutowicz Z.: Środowisko programowe dla systemu ekspertowego w zakresie optymalnego sterowania procesami o rozłożonych parametrach. Mater. Conf. nt. Inżynieria Wiedzy i Systemy Ekspertowe. Wrocław 1993, t. 1. p.199-202.
- [13] Kački E., Filutowicz Z.: Conversational System of Computer Assisted Instruction for Analysing and Control Systems Design. Scien. Bull. of ŁTU Informatyka No 2, 1993, pp.135-144.
- [14] Kački E.: Problemy optymalnego sterowania systemami o rozłożonych parametrach. PWN, W-wa 1991.
- [15] Małanowski K.: Stability of solution to convex problem of optimization, Springer, Berlin, 1987