

Złożoność obliczeniowa

Sylabus zajęć

Informacje podstawowe

Kierunek studiów Informatyka Specjalność - Jednostka organizacyjna Wydział Matematyki i Informatyki Poziom studiów studia drugiego stopnia poinżynierskie Forma studiów studia stacjonarne Profil studiów profil ogólnoakademicki		Cykl dydaktyczny 2023/24 Kod zajęć 06INFS.44S.01043.23 Języki wykładowe polski Obligatoryjność Fakultatywny Blok zajęciowy Przedmioty specjalnościowe
Koordynator zajęć	Stanisław Gawiejnowicz	
Prowadzący zajęcia	Stanisław Gawiejnowicz	
Okres Semestr 3	Forma zajęć / liczba godzin / forma zaliczenia - Wykład: 30, Egzamin - Laboratorium: 30, Zaliczenie z oceną	Liczba punktów ECTS 6

Cele kształcenia dla zajęć

Kod	Cel
C1	Zapoznanie z podstawowymi pojęciami i twierdzeniami teorii złożoności.
C2	Wykształcenie umiejętności analizy złożoności czasowej i pamięciowej wybranych problemów optymalizacji kombinatorycznej.

Wymagania wstępne

Podstawowa znajomość teorii algorytmów i programowania w języku wysokiego poziomu.

Efekty uczenia się dla zajęć

Kod	Efekty uczenia się dla zajęć w zakresie	Efekty uczenia się dla kierunku	Metody weryfikacji osiągnięcia efektów uczenia się dla zajęć
Wiedzy - Student/ka:			
W1	zna podstawowe pojęcia dotyczące języków, problemów oraz schematów kodowania.	INF_K4_W01, INF_K4_W02, INF_K4_W03, INF_K4_W04	Egzamin pisemny, Kolokwium pisemne, Projekt, Zadania wykonywane podczas zajęć
W2	zna definicję deterministycznej maszyny Turinga.	INF_K4_W01, INF_K4_W02, INF_K4_W03, INF_K4_W04	Egzamin pisemny, Kolokwium pisemne, Projekt, Zadania wykonywane podczas zajęć
W3	zna definicję niedeterministycznej maszyny Turinga.	INF_K4_W01, INF_K4_W02, INF_K4_W03, INF_K4_W04	Egzamin pisemny, Kolokwium pisemne, Projekt, Zadania wykonywane podczas zajęć
W4	zna główne daty w rozwoju teorii złożoności.	INF_K4_W02	Egzamin pisemny, Kolokwium pisemne, Projekt, Zadania wykonywane podczas zajęć
W5	zna podstawowe klasy algorytmów oraz ich własności.	INF_K4_W01, INF_K4_W02, INF_K4_W03, INF_K4_W04	Egzamin pisemny, Kolokwium pisemne, Projekt, Zadania wykonywane podczas zajęć
W6	zna definicje klas P i NP oraz rozumie związki między nimi.	INF_K4_W01, INF_K4_W02, INF_K4_W03, INF_K4_W04	Egzamin pisemny, Kolokwium pisemne, Projekt, Zadania wykonywane podczas zajęć
W7	zna definicje transformacji wielomianowej oraz problemu NP-zupełnego.	INF_K4_W01, INF_K4_W02, INF_K4_W03, INF_K4_W04	Egzamin pisemny, Kolokwium pisemne, Projekt, Zadania wykonywane podczas zajęć
W8	zna twierdzenia Cooka oraz rozumie jego konsekwencje.	INF_K4_W01, INF_K4_W02, INF_K4_W03, INF_K4_W04	Egzamin pisemny, Kolokwium pisemne, Projekt, Zadania wykonywane podczas zajęć
W9	zna sformułowania głównych problemów NP-zupełnych.	INF_K4_W01, INF_K4_W02, INF_K4_W03, INF_K4_W04	Egzamin pisemny, Kolokwium pisemne, Projekt, Zadania wykonywane podczas zajęć
W10	zna definicje transformacji pseudowielomianowej oraz problemu silnie NP-zupełnego.	INF_K4_W01, INF_K4_W02, INF_K4_W03, INF_K4_W04	Egzamin pisemny, Kolokwium pisemne, Projekt, Zadania wykonywane podczas zajęć

Kod	Efekty uczenia się dla zajęć w zakresie	Efekty uczenia się dla kierunku	Metody weryfikacji osiągnięcia efektów uczenia się dla zajęć
W11	zna sformułowania głównych problemów silnie NP-zupełnych.	INF_K4_W01, INF_K4_W02, INF_K4_W03, INF_K4_W04	Egzamin pisemny, Kolokwium pisemne, Projekt, Zadania wykonywane podczas zajęć
W12	zna pojęcia słabej i silnej NP-zupełności, ich wzajemne relacje oraz ich konsekwencje.	INF_K4_W01, INF_K4_W02, INF_K4_W03, INF_K4_W04	Egzamin pisemny, Kolokwium pisemne, Projekt, Zadania wykonywane podczas zajęć
W13	zna związki między NP-zupełnością a NP-trudnością.	INF_K4_W01, INF_K4_W02, INF_K4_W03, INF_K4_W04	Egzamin pisemny, Kolokwium pisemne, Projekt, Zadania wykonywane podczas zajęć
W14	zna główne metody dowodzenia NP-zupełności i NP-trudności.	INF_K4_W01, INF_K4_W02, INF_K4_W03, INF_K4_W04	Egzamin pisemny, Kolokwium pisemne, Projekt, Zadania wykonywane podczas zajęć
W15	zna definicje algorytmu aproksymacyjnego oraz schematu aproksymacyjnego oraz główne metody ich konstrukcji, potrafi podać przykłady takich algorytmów i schematów.	INF_K4_W01, INF_K4_W02, INF_K4_W03, INF_K4_W04	Egzamin pisemny, Kolokwium pisemne, Projekt, Zadania wykonywane podczas zajęć
Umiejętności - Student/ka:			
U1	umie napisać proste programy dla modelu deterministycznej maszyny Turinga.	INF_K4_U01	Egzamin pisemny, Kolokwium pisemne, Projekt, Zadania wykonywane podczas zajęć
U2	potrafi wykorzystać model niedeterministycznej maszyny Turinga w rozumowaniach.	INF_K4_U01	Egzamin pisemny, Kolokwium pisemne, Projekt, Zadania wykonywane podczas zajęć
U3	potrafi określić przynależność konkretnego algorytmu do jednej z podstawowych klas algorytmów.	INF_K4_U01	Egzamin pisemny, Kolokwium pisemne, Projekt, Zadania wykonywane podczas zajęć
U4	potrafi zastosować definicję transformacji wielomianowej oraz problemu NP-zupełnego w rozumowaniach.	INF_K4_U01, INF_K4_U02, INF_K4_U04, INF_K4_U06	Egzamin pisemny, Kolokwium pisemne, Projekt, Zadania wykonywane podczas zajęć
U5	potrafi zastosować definicje transformacji pseudowielomianowej i problemu silnie NP-zupełnego w rozumowaniach.	INF_K4_U01, INF_K4_U02, INF_K4_U04, INF_K4_U06	Egzamin pisemny, Kolokwium pisemne, Projekt, Zadania wykonywane podczas zajęć

Kod	Efekty uczenia się dla zajęć w zakresie	Efekty uczenia się dla kierunku	Metody weryfikacji osiągnięcia efektów uczenia się dla zajęć
U6	potrafi zastosować główne metody dowodzenia NP-zupełności i NP-trudności w odniesieniu do wybranych problemów.	INF_K4_U01, INF_K4_U02, INF_K4_U04, INF_K4_U06	Egzamin pisemny, Kolokwium pisemne, Projekt, Zadania wykonywane podczas zajęć

Treści programowe dla zajęć

Lp.	Treści programowe dla zajęć	Efekty uczenia się dla zajęć	Formy zajęć
1.	Podstawowe pojęcia i definicje. Pojęcie problemu, problemy nierozstrzygalne, problemy algorytmiczne, problemy optymalizacyjne, problemy decyzyjne, problemy przeszukiwania, przykłady problemów różnych typów. Schematy kodowania, kodowanie unarne, kodowanie binarne, reguły dotyczące schematów kodowania, instancje problemów. Deterministyczna i niedeterministyczna maszyna Turinga, inne główne teoretyczne modele obliczeń, związki między różnymi modelami obliczeń. Pojęcie języka, redukcje języków, rozpoznawania języków, języki a problemy.	W1, W2, W3, U1, U2	Wykład, Laboratorium
2.	Główne daty w rozwoju teorii złożoności. Problemy Hilberta. Twierdzenie Gödla o niezupełności arytmetyki Peano. Powstanie teoretycznych modeli obliczeń i teorii obliczalności. Nierozstrzygalność problemu stopu maszyny Turinga. Znaczenie prac Cobhama, Hartmanisa, Stearnsa i Edmondsa dla teorii złożoności. Twierdzenie Cooka. Hipoteza $P = ? NP$. Lista 21 problemów Karpa. Teoria złożoności współcześnie.	W4	Wykład
3.	Główne klasy algorytmów i ich własności. Algorytmy deterministyczne i niedeterministyczne. Algorytmy dokładne i przybliżone. Algorytmy optymalne i suboptymalne. Algorytmy wielomianowe, pseudowielomianowe i wykładnicze. Algorytmy offline i online. Złożoność obliczeniowa i pamięciowa algorytmu. Złożoność algorytmu a jego efektywność w praktyce.	W5, U3	Wykład, Laboratorium
4.	Klasy P i NP. Problemy wielomianowe, definicja klasy P. Problemy weryfikowalne w wielomianowym czasie, definicja klasy NP. Przykłady problemów z klas P i NP. Związki między klasami P i NP. Hipoteza $P = ? NP$.	W6	Wykład, Laboratorium
5.	Transformacje wielomianowe i słaba NP-zupełność. Transformacja wielomianowa, definicja problemu NP-zupełnego. Przykłady problemów NP-zupełnych. Metody dowodzenia NP-zupełności.	W7, U4	Wykład, Laboratorium
6.	Twierdzenie Cooka. Problem SAT. Główne odmiany problemu SAT. Twierdzenie Cooka. Konsekwencje twierdzenia Cooka.	W8	Wykład, Laboratorium

Lp.	Treści programowe dla zajęć	Efekty uczenia się dla zajęć	Formy zajęć
7.	Główne problemy słabo NP-zupełne. Problem 3-wymiarowego skojarzenia. Problem pokrycia wierzchołkowego. Problem podziału zbioru. Problem cyklu Hamiltona. Problem klik. Problem plecakowy. Problem minimalizacji długości uszeregowania.	W14, W9, U6	Wykład, Laboratorium
8.	Transformacje pseudowielomianowe i silna NP-zupełność. Algorytmy pseudowielomianowe dla problemów NP-zupełnych, definicja problemu silnie NP-zupełnego. Przykłady problemów silnie NP-zupełnych.	W10, U5	Wykład, Laboratorium
9.	Główne problemy silnie NP-zupełne. Problem 3-podziału. Problem wędrującego komiwojażera.	W11, W14, U6	Wykład, Laboratorium
10.	Konsekwencje NP-zupełności. Konsekwencje słabej i silnej NP-zupełności.	W12	Wykład
11.	NP-trudność i jej związki z NP-zupełnością. Problemy słabo i silnie NP-trudne. Słaba (silna) NP-zupełność a słaba (silna) NP-trudność.	W13	Wykład
12.	Metodyka rozwiązywania problemów NP-trudnych. Badanie wielomianowych przypadków szczególnych problemów NP-trudnych. Przykłady przypadków szczególnych wybranych problemów NP-trudnych. Stosowanie algorytmów dokładnych dla problemów NP-trudnych. Stosowanie algorytmów pseudowielomianowych dla problemów NP-trudnych. Stosowanie algorytmów heurystycznych i metaheurystycznych dla problemów NP-trudnych.	W14, W15, U6	Wykład, Laboratorium
13.	Algorytmy aproksymacyjne i schematy aproksymacyjne. Definicja algorytmu aproksymacyjnego, współczynnika najgorszego przypadku algorytmu offline i współczynnika wydajności algorytmu online. Ogólne zasady analizy najgorszego przypadku i analizy wydajności. Przykłady algorytmów aproksymacyjnych dla wybranych problemów NP-trudnych. Definicja schematu aproksymacyjnego. Schematy aproksymacyjne typu PTAS oraz FPTAS. Metody konstrukcji schematów aproksymacyjnych. Przykłady schematów aproksymacyjnych dla wybranych problemów NP-trudnych. Klasy APX, PTAS oraz FPTAS.	W15	Wykład, Laboratorium

Informacje dodatkowe

Forma zajęć	Metody i formy prowadzenia zajęć
Wykład	Wykład z prezentacją multimedialną wybranych zagadnień
Laboratorium	Praca z tekstem, Rozwiązywanie zadań (np.: obliczeniowych, artystycznych, praktycznych), Metoda ćwiczeniowa, Metoda laboratoryjna

Forma zajęć	Warunki zaliczenia zajęć
Wykład	Warunkiem przystąpienia do egzaminu jest uzyskanie zaliczenia z laboratoriów. Na końcową ocenę składa się wynik uzyskany na egzaminie pisemnym. Skala ocen: 1. bardzo dobry (bdb; 5,0) – od 90% punktów, 2. dobry plus (db plus; 4,5) – od 80% punktów, 3. dobry (db; 4,0) – od 70% punktów, 4. dostateczny plus (dst plus; 3,5) – od 60% punktów, 5. dostateczny (dst; 3,0) – od 50% punktów, 6. niedostateczny (ndst; 2,0) – poniżej 50% punktów.
Laboratorium	Końcowa ocena składa się z następujących elementów: 1. kolokwium pisemne – 75%, 2. projekt – 10%, 3. zadania wykonywane podczas zajęć – 15%. Skala ocen: 1. bardzo dobry (bdb; 5,0) – od 90% punktów, 2. dobry plus (db plus; 4,5) – od 80% punktów, 3. dobry (db; 4,0) – od 70% punktów, 4. dostateczny plus (dst plus; 3,5) – od 60% punktów, 5. dostateczny (dst; 3,0) – od 50% punktów, 6. niedostateczny (ndst; 2,0) – poniżej 50% punktów.

Literatura

Obowiązkowa

1. J. Błażewicz, Złożoność obliczeniowa problemów kombinatorycznych, WNT, 1988.
2. T.H. Cormen, C.E. Leiserson, R.L. Rivest, C. Stein, Wprowadzenie do algorytmów, WNT, 2004.
3. M.R. Garey, D.S. Johnson, Computers and Intractability: A Guide to the Theory of NP-completeness, Freeman, 1979.
4. S. Gawiejnowicz, Models and Algorithms of Time-Dependent Scheduling, Springer, 2020.
5. D. Hochbaum, ed., Approximation Algorithms for NP-hard Problems, PWS Publishing, 1998.
6. D.S. Johnson, A brief history of NP-completeness, 1954-2012, Documenta Mathematica, Extra Volume ISMP (2012), 359-376.
7. C.H. Papadimitriou: Złożoność obliczeniowa, WNT, 2003.
8. V. Vazirani, Algorytmy aproksymacyjne, WNT, 2005.

Dodatkowa

1. J. Hartmanis, R.E. Stearns, On the computational complexity of algorithms, Transactions of the American Mathematical Society, 117 (1965), 285-305.
2. H.L. Lewis, C.H. Papadimitriou, Elements of the theory of computation, 2nd ed., Prentice-Hall, 1998.

Nakład pracy studenta i punkty ECTS

Rodzaje zajęć studenta	Średnia liczba godzin* przeznaczonych na zrealizowane rodzaje zajęć
Wykład	30
Laboratorium	30
Przygotowanie do zajęć	30
Czytanie wskazanej literatury	15
Przygotowanie projektu	10

Przygotowanie do egzaminu	15
Przygotowanie do zaliczenia	15
Inne	5
Łączny nakład pracy studenta	Liczba godzin 150
Liczba punktów ECTS	ECTS 6

* godzina (lekcyjna) oznacza 45 minut

Efekty uczenia się dla kierunku

Kod	Treść
INF_K4_U01	Absolwent/ka potrafi zastosować zaawansowaną wiedzę matematyczną do formułowania, analizowania i rozwiązywania złożonych i nietypowych zadań związanych z informatyką
INF_K4_U02	Absolwent/ka potrafi adaptować istniejące oraz tworzyć nowe metody informatyczne do rozwiązywania nieszablonowych problemów praktycznych i teoretycznych
INF_K4_U04	Absolwent/ka potrafi projektować i implementować systemy informatyczne o różnej złożoności i różnych architekturach
INF_K4_U06	Absolwent/ka potrafi rozwiązywać złożone problemy z wybranych obszarów informatyki oraz proponować nowe algorytmy, narzędzia i metody wykorzystując odpowiednio dobrane źródła, które poddaje krytycznej analizie, syntezie i twórczej interpretacji
INF_K4_W01	Absolwent/ka zna i rozumie w pogłębionym stopniu pojęcia z działów matematyki niezbędne do rozwiązywania zaawansowanych problemów w informatyce
INF_K4_W02	Absolwent/ka zna i rozumie współczesny stan badań i tendencje rozwojowe w wiodących obszarach informatyki
INF_K4_W03	Absolwent/ka zna i rozumie w pogłębionym stopniu współczesne metody, narzędzia i technologie informatyczne właściwe dla wybranych obszarów zastosowań niezbędne przy budowie złożonych systemów informatycznych oraz przy prowadzeniu prac badawczo-rozwojowych
INF_K4_W04	Absolwent/ka zna i rozumie zasady rozwiązywania problemów z wykorzystaniem zaawansowanych algorytmów i metod informatycznych