

МАТЕМАТИКА И МАТЕМАТИЧЕСКО ОБРАЗОВАНИЕ, 2020
MATHEMATICS AND EDUCATION IN MATHEMATICS, 2020
*Proceedings of the Forty-ninth Spring Conference
of the Union of Bulgarian Mathematicians
2020*

**БЪЛГАРСКА ПЛАТФОРМА
ЗА СЪСТЕЗАТЕЛНА ИНФОРМАТИКА***

**Емил Келеведжиев, Тодор Брънзов,
Петър Петров, Марин Шаламанов**

Представена е разработваната от авторите платформа за състезателна информатика, включваща две основни компоненти: система за оценяване на решенията на състезателите и система за архивиране на състезателни задачи с възможност за онлайн изпращане на решения. Описано е състоянието на подобни системи по света и са дадени изисквания за тях.

Увод. Българската състезателна информатика е известна със своите успехи. Заслужава да отбележим второто място в света при индивидуалното класиране за всичките проведени международни олимпиади по информатика и петото място в света при подредбата на държавите в сумарното класиране по медали за всичките олимпиади [2]. България е основател и първи домакин на Международната олимпиада по информатика и на Европейската младежка олимпиада.

В продължение на дълъг (над 30-годишен) период от време, всяка година непрекъснато в нашата страна се провеждат национални състезания и се осъществява добре организирана подготовка на национално и на местно ниво, ръководена от университетски преподаватели, учени от Българската академия на науките, изявени учители и ентузиастични фирми. Активно се поддържа сайт Инфос [12] от Националната комисия, в който е събран пълен архив на задачите от всички национални състезания от последните години.

Световна тенденция в състезателната информатика е да се разработват и прилагат софтуерни състезателни системи. Те могат да бъдат изградени от различни по предназначение модули: за провеждане и оценяване при присъствено състезание; за провеждане на онлайн състезание; за поддържане на жив архив от задачи, където трениращият състезател може да решава задачите и да вижда в реално време как автоматично се оценена работата му и пр. За някои от тези софтуерни системи е необходимо целево хардуерно осигуряване и ползване на хостинг услуги.

Състезания по информатика. Състезанията по информатика възникват върху опита, натрупан при провеждащите се преди тях по-дългогодишни състезания

* **Ключови думи:** състезания по информатика, системи за оценяване, архиви със състезателни задачи по информатика.

Статията е написана в рамките на проекта „Национална система за състезателна информатика в България“ от програмата „Образование с наука“ между МОН и БАН за 2019-2020 г.

по математика. Новото при състезанията по информатика, е че те се състоят в написване на програма на език за програмиране. Затова са известни и с названието „състезания по програмиране“. Задачите, които се решават са подобни на математическите, имат алгоритмичен характер, като в повечето случаи са от комбинаторен (или целочислен) вид.

Една основна разлика между състезанията по информатика и тези по математика е начинът на проверката на работата на състезателите. Докато при математическите състезания проверката се извършва от добре квалифицирани членове на жури, то при състезанията по информатика днес това се извършва автоматично, чрез съответна софтуерна система. Съществуват няколко разновидности на задачи по информатика, но най-често задачите са такива, които се проверяват чрез набор от тестови примери с предварително приготвен от автора на задачата вход и изход, и тези тестови примери са неизвестни за състезателя.

Така на програмата на състезателя се гледа като на „черна кутия“, т. е. оценителите не се интересуват от начина на написването на програмата от състезателя или какъв алгоритъм е използван. Това увеличава изискванията към автора на задачата да приготви много добре съставени тестови примери, обхващащи разнообразието на възможните входни данни в рамките на ограниченията от условието на задачата. За изпълнението на всеки тест в проверяващата система е зададено ограничение по време за продължителността на работата на програмата на състезателя, което много сполучливо може да оцени, дали състезателят е използвал ефективен (бързо-работещ) алгоритъм.

Историческо развитие. По данни от литературата [11] първото състезание по програмиране се е провело през 1970 г. в Университета на Тексас (Texas A&M University). Счита се, че от 1977 г. то прераства в известното сега международно студентско състезание ICPC (ACM International Collegiate Programming Contest). Оттогава това най-голямо международно състезание се провежда ежегодно и през 2019 г. обхваща в първата си регионална фаза над 50 000 студенти, учещи в около 3000 университета от повече от 100 държави.

В България първото състезание по информатика за ученици е осъществено през 1981 г. Националната олимпиада по информатика започва да се провежда ежегодно от 1985 г. Нашата страна е организатор на международно състезание за ученици през 1987 г., а през 1989 г. е основател на Международната олимпиада по информатика, проведена в Плевен от 16 до 19 май 1989 г. Международната олимпиада по информатика за ученици продължава да се провежда ежегодно и през 2019 г. вече обхваща участници от над 80 държави.

Общото както за студентските, така и за ученическите състезания е, че на участниците се предлагат няколко задачи, за които състезателят трябва да напише решение. Решението е програма. За да бъде проверена написаната програма, най-често се използват тестови примери. Журито подготвя тестове, всеки от които се състои от двойка файлове – входен и изходен. В типичния случай програмата на състезателя трябва да прочете входния файл и да изведе резултат. Журито трябва да сравни резултата на състезателя с предварително приготвения изход. По-надолу ще опишем различни модификации на така представения класически начин на тестване.

При първите състезания процесът за проверка на програмата на състезателя, включващ нейното компилиране, подаването на входни данни и сравняване на по-

лучения резултат, се е извършвал ръчно. Това очевидно води до голяма продължителност на процеса особено когато е голям броят на задачите, броят на тестовете, както и при голям брой участници. Затова организаторите на състезанията са се обърнали към възможността този процес да бъде автоматизиран чрез създаване на подходяща софтуерна система.

Софтуерните системи, които се използват за целта, сега се наричат *системи за оценяване* или *съдийски системи* (*grading systems, judge systems*). Една от първите подобни, но не напълно автоматични системи, е системата за проверка, наречена PC², чието използване е започнало през 1989 г. при Международното студентско състезание ICPC. Системата е била написана на Турбо Паскал за MS-DOS и комуникацията между състезателите и журито се е извършвала с дискети.

При първите няколко издания на Международната олимпиада по информатика не са използвани софтуерни системи за оценяване. Състезателите са предоставяли записани на дискети своите работи. Тези работи са били ръчно оценявани от журито и от ръководителите на отборите чрез извършване на компилиране, изпълнение и определяне на точки, съгласно подробни инструкции, дадени от Научния комитет. За първи път полуавтоматична система, макар и с пренос чрез дискети е приложена на Олимпиадата през 1994 г. в Швеция.

Система, при която преносът и оценяването са автоматични (макар и в несъвършен вид) за първи път е използвана на Международната олимпиада по информатика в 1999 г. в Анталия, Турция [5]. Като резултат времето за проверка е намалено на 2 часа в сравнение с около 14 часа при ръчна проверка на предишната Олимпиада в Сетубал, Португалия. Организаторите на следващите олимпиади – 2000 г. (Китай), 2002 г. (Република Корея), 2003 г. (САЩ), 2005 г. (Полша), 2007 г. (Хърватия) – използват свои специално разработени системи, а олимпиадите през 2001 г. (Финландия), 2004 г. (Гърция) и 2006 г. (Мексико) прилагат системата, разработена от САЩ.

От 2012 г., когато Олимпиадата е проведена в Италия и домакините имат собствена система CMS-IOI, тази система се утвърждава като предпочитана за почти всички следващи олимпиади [4]. Тя е с отворен код и се поддържа с разработване на нови версии [1].

Компонент на платформата за оценяване на решенията. Системата за оценяване трябва да осигурява:

- автоматично определяне без човешка намеса на точки за всяко решение на състезател;
- автоматично изпращане на решенията на състезателите по мрежова връзка;
- извършване на оценяването в реално време без видимо забавяне след изпращането на решение от състезателя с цел да се постигне публикуване на класиране в реално време „на живо“.

Системата за оценяване е подчинена на следните изисквания:

- Сигурност. Изолиране на състезателите помежду им и от външния свят, като все пак трябва да има точка на контакт между състезателя и системата за оценяване.
- Устойчивост. Грешки и критични състояния в част от системата не трябва да водят до срив в цялата система. Трябва да е осигурено безпроблемно заменяне на хардуерни и софтуерни компоненти по време на протичане на състезанието и да има

сигурно запазване на изпратената информация от състезателите във всеки момент на състезанието.

- Достъпност за използване. Системата трябва да бъде лесна за инсталиране или за онлайн използване от всички участници в състезанията – състезатели, треньори и ръководители: да е добре документирана и да има възможност за връзка с разработчиците при намиране на грешки във функционирането ѝ.

- Разширяемост. При появата на нови разновидности на задачи да има възможност за добавяне на съответни средства за тях в системата. Да не се ограничава само с един определен начин за подготовка на състезание и въвеждане на задачи.

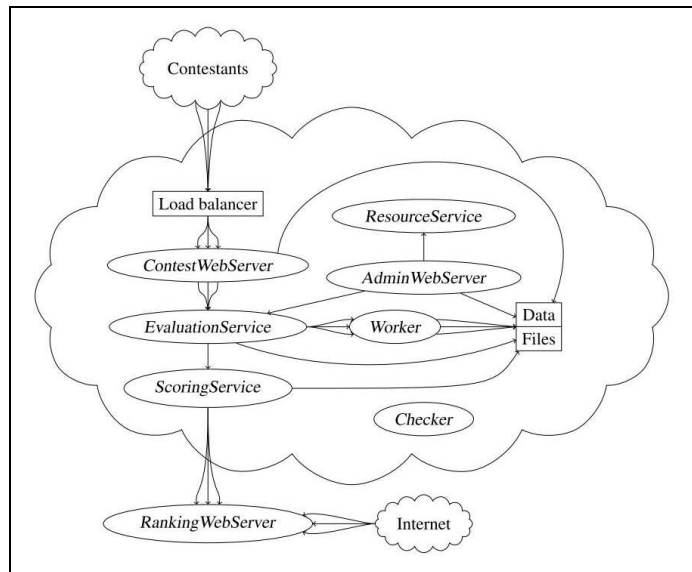
- Гъвкавост. Лесно въвеждане на данни за състезания, състезатели и получаване на таблици с класиране: възможност за работа с голям брой състезатели чрез използване на няколко машини.

Основните сервиси в една система за оценяване на примера на системата CMS-IOI [4] са (фиг. 1):

- LogService – Получава, агрегира и показва всички лог-файлове в системата.
- Worker – Извършва компилация и изпълнение на програмите на състезателите в защитена среда.
- EvaluationService – Поддържа опашката от заданията за назначаване към Worker.
- ScoringService – Пресмята в точки за класирането получените резултати от оценяването и комуникира в реално време с програмата за създаване на ранкинг.
- Checker – Осъществява синхронизираща функция за всички сервиси.
- ResourceService – Стартира сервизите в машината, в която работи, и събира информация за използване на ресурсите.
- ContestWebServer – Обслужва веб-страницата, с която се прави връзка със състезателя, за да може той да изпраща решения и да получава обратна информация.
- AdminWebServer – Обслужва веб-страницата, с която се прави връзка с администратора, за да може той да конфигурира и управлява състезанието.

Естеството на всяка система за оценяване включва изпълняване на *несигурна* програма, изпратена от състезателя, и ако не се вземат специални мерки за защита, възможно е понякога такава програма да доведе до частично или пълно компрометиране на цялата софтуерна оценяваща система. Затова цялостната работа с програмата на състезателя (извикване на изпълнимия код и даже компилирането) се извършва в защитена среда, наречена *sandbox*. За целите на състезателното програмиране една такава разработка за защитена среда е направена от Мартин Мареш [6].

Видове задачи. Най-разпространеният тип задачи са такива, при които програмата на състезателя трябва да прочете последователност от данни, записани в текстов файл чрез числа и знаци, следвайки точно определен формат, и да изведе друга последователност в текстов файл. Това са т. нар. задачи от тип *input/output*. Вместо записани във файловата система файлове, често се използва стандартен вход и стандартен изход. Входните и изходните файлове не са известни на състезателя, а е дадено само описание за техния формат. При задачи с еднозначен отговор проверяващата система трябва буквално да сравни изхода, получен от програмата на състезателя, със съответния изходен файл, подготвен от автора на задачата. При неединствен отговор, авторът на задачата трябва да приготви програма за проверка с по-сложен алгоритъм (т. нар. програма checker). При някои случаи е необходимо



Фиг. 1. Сервиси и тяхното взаимодействие в CMS-IOI. Всяка стрелка показва възможна заявка. Множествена стрелка означава, че съответният сервис може да бъде извикан, така че да работи в повече от едно свое копие. Сервисите Checker и ResourceService взаимодействат с всички други сервиси и затова съответните стрелки не са показани

да се извърши групиране на тестове и вместо поотделно поставяне на точки за всеки успешно преминал тест, да се дават точки за цялата група само когато всичките тестове в групата са преминали успешно.

По-сложен вид задачи са *интерактивните задачи*. При тях програмата, написана от състезателя, взаимодейства многократно с програма, написана от автора на задачата. Типичен пример са игровите задачи, за които това взаимодействие съответства на последователност от редуващи се ходове на двама играчи – програмата на състезателя и програмата на журито.

Интересен пример за друг вид задачи са такива, при които състезателят трябва да изпрати само файл с решението, без да изпраща програма (т. нар. *output only* задачи.) При тези задачи за състезателя са известни входните данни и трудността при решаването е да бъде намерен начин за създаване на изходния файл чрез всички позволени средства при използване на осигурената за състезателя работна станция, или даже задачата да бъде решена по мисловен път.

Измерване на времето за работа на програмата. В състезателното програмиране много важен елемент от оценяването е точното измерване на времето, необходимо на програмата, за да произведе изходни данни. Задава се ограничение за това време и не са поставят точки за съответния тест, даже и когато произведените изходни данни са правилни, но програмата ги е изработила по-бавно. Причината това да бъде общоприето при състезателната информатика е, че чрез времето се оценява качеството на реализирания алгоритъм от състезателя. Финото време-измерване все още остава незадоволително решен проблем [6]. Друг проблем,

свързан с времето за работа, е, че при въвеждането или при извеждането на много големи по обем данни, част от времето за работа се изразходва за входно-изходни операции, което опорочава идеята да се гледа на времето за работа като на мярка за качеството на алгоритъма, с който по същество се решава задачата. Този проблем намира сполучливо решение, когато състезателят е инструктиран от условието на задачата да използва специално приготвени от журито функции за вход и изход, вместо стандартните средства от езика за програмиране за работа с файлове.

Компонент на платформата за жив архив със задачи. Първата онлайн система от този вид, която сега има голяма популярност, е основана през 1995 г. от Мигел Ревиля в Университета на Валядолид, Испания [6]. Тя е насочена за подготовка за Международното студентско състезание ICPC, защото за всяка задача системата дава обобщена информация дали всички тестове в съвкупност към задачата са успешно преминали от програмата на състезателя – една задача може да бъде или изцяло решена, или въобще нерешена. Различно е при задачите в стила на Международната олимпиада по информатика, където състезателят получава обичайно оценяване на своето решение в точки от диапазона 0 – 100, като точките основно зависят от броя успешно преминали тестове. Системата на Университета на Валядолид [10] е автоматична съдийска система, в която всеки желаещ от целия свят може да изпраща свое решение към избрана от него задача. Понастоящем задачите в системата са повече от 5 000, а регистрираните участници са над 250 000. Системата първоначално е била замислена за тренировка на потенциални състезатели за състезанието ICPC, но скоро се е превърнала в много добро средство за самообразование.

Таблица 1. Сайтове (активни към януари 2020 г.) с архиви от поне 2000 задачи за онлайн оценяване на изпратени решения и организиращи онлайн състезания (на англ. език) [11]

основан година	адрес	брой задачи	брой участници
1995	Uva Online Judge, https://uva.onlinejudge.org/	5 000	250 000
2001	TopCoder, https://www.topcoder.com/	5 200	4 000
2003	Peking University Judge Online, http://poj.org/	3 000	250 000
2004	SPOJ, https://www.spoj.com/	6 000	60 000
2006	e-olymp, https://www.e-olymp.com/en/	7 500	47 000
2010	Caribbean Online Judge, http://coj.uci.cu/	2 700	28 000
2010	Codeforces, http://codeforces.com/	3 000	32 500

Системата MENDO [7], разработена в Северна Македония, има 13 000 регистрирани потребители, съдържа около 440 задачи в жив архив от национални и международни състезания и се използва за тренировка на състезателите. Към системата има разработени някои специфични допълнения [3]:

- Анализ на изпратения код, състоящ се в автоматично подсказване при допускане на някои синтактични, входно-изходни и други грешки.

- Възможност за поискване на достъп за някои тестове в тренировъчен режим. Това улеснява обучаването в редица случаи, когато състезателят не може да се

128

ориентира за грешката си. Даване на подсказки за особености при някои тестове.

- Автоматично създаване на виртуално състезание според персоналните особености на състезателя, изхождайки от неговите възможности за решаване на задачи.

От действащите у нас системи с характеристика на „жив архив“ отбелязваме следните две:

- informatika.bg, поддържана от Александър Георгиев [13]. Там може да бъде намерена и много допълнителна и актуална информация за състезанията по информатика. Съдържа и много лекции, предназначени за състезатели.

- Маусамр аена [8]. В сайта редовно се въвеждат всички задачи от проведените национални състезания и се организират собствени състезания. Броят на задачите, достъпни за изпращане на решения към тях, е над 1200.

В съществуващия сега в България архив на сайта Инфос [12] се съхранява голям брой задачи от националните състезания в България. За всяка задача има текст на условието, авторско решение, пояснение към решението с описание на използвания алгоритъм, тестови примери, с които работите на състезателите са били проверявани в реалното състезание, всички решения, изпратени от състезателите по време на състезанието, и получените точки от състезателите.

Основната цел при разработването на жив архив е той да бъде използван от състезателите при подготовката им, като всеки желаещ да може, след като прочете условието на задача, да напише решение и да го изпрати към системата. След това автоматично да получи отговор – с колко точки е оценено решението му. Главните функционалности на такава система са:

- Възможност за въвеждане на нови задачи от администратор. Задачите трябва да бъдат от всички видове, които се срещат в реалните състезания.

- Автоматично определяне на ограниченията по време.

- Йерархична структура на задачите.

- Потребителски профили за учениците.

- Тагове за задачите и опит за автоматичното им определяне.

- Поддръжка на новите версии на езика за програмиране C++.

- Споделяне на линкове към изпратени решения.

- Дискусия към всяка задача и докладване на грешки в задачите.

- Възможност за организиране от учител на тренировъчно състезание, чрез съставяне на тема.

- Създаване на потребителски групи и школи.

Заключение. В България се извършва развитие на дейностите, описани в настоящето изложение. Добър прогрес е дадената поддръжка от страна на Министерството на образованието и науката към Българската академия на науките в рамките на програмата „Образование с наука“ за 2019–2020 г. за проекта „Национална система за състезателна информатика в България“.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] CMS, a Contest Management System. <https://cms-dev.github.io/> (посетен на 20 януари 2020).
- [2] International Olympiad in Informatics – Statistics. <http://stats.ioinformatics.org/> (посетен на 20 януари 2020 г.)
- [3] M. JOVANOVIĆ, B. KOSTADINOV, E. STANKOV, M. MIHOVA, M. GUSEV. State Competitions in Informatics and the Supporting Online Learning and Contest Management System with Collaboration and Personalization Features MENDO. *Olympiads in Informatics*, **7** (2013), 42–54.
- [4] S. MAGGIOLO, G. MASCELLANI. Introducing CMS: A Contest Management System. *Olympiads in Informatics*, **6** (2012), 86–99.
- [5] K. MANEV, M. SREDKOV, T. BOGDANOV. Grading Systems for Competitions in Programming. *Математика и математическо образование*. **38** (2009), 103–116.
- [6] M. MARES. Perspective on Grading Systems. *Olympiads in Informatics*, **1** (2007), 124–130.
- [7] MENDO System for Competitions in Informatics <https://mendo.mk/> (посетен на 20 януари 2020 г.)
- [8] Мусамп Арена. Състезания по алгоритми. <https://arena.maycamp.com/> (посетен на 20 януари 2020 г.)
- [9] M. A. REVILLA, S. MANZOOR, R. LIU. Competitive Learning in Informatics. The UVa Online Judge Experience. *Olympiads in Informatics*, **2** (2008), 131–148.
- [10] UVa Online Judge <https://onlinejudge.org/> (посетен на 20 януари 2020 г.)
- [11] S. WASIK, M. ANTczak, J. BADURA, A. LASKOWSKI, T. STERNAL. A Survey on Online Judge Systems and Their Applications. ACM Computing Surveys (CSUR) January 2018 Article No. 3. <https://doi.org/10.1145/3143560>
- [12] Инфос – сайт на Комисията за извънкласна работа по информатика при СМБ. <http://www.math.bas.bg/infos/> (посетен на 20 януари 2020 г.)
- [13] Сайт за алгоритми, състезателна информатика и програмиране. <http://www.informatika.bg/> (посетен на 20 януари 2020 г.)

Емил Келеведжиев

e-mail: keleved@math.bas.bg

Тодор Брънзов

e-mail: tbranzov@math.bas.bg

Институт по математика и информатика

Българска академия на науките

ул. „Акад. Г. Бончев“, бл. 8

1113 София, България

Петър Петров

e-mail: pppepito86@gmail.com

Марин Шаламанов

e-mail: shalamanov.marin@gmail.com

Олимпийци ООД

1000 София, България

BULGARIAN PLATFORM FOR COMPETITIONS IN INFORMATICS

Emil Kelevedjiev, Todor Branzov, Petar Petrov, Marin Shalamanov

A software platform for supporting competitions in informatics is presented. The platform is currently under development by the authors. Two main components are highlighted: a grading system for evaluating competitors' submissions and a system for archiving competition tasks with the grading ability for checking the received solutions for training purposes online. The status of similar systems worldwide is described and requirements they are expected to meet are specified.