

АЛГОРИТМ СПРЯМОВАННОГО ПОШУКУ РІШЕННЯ ДЛЯ СКЛАДАННЯ РОЗКЛАДУ ЗАНЯТЬ У НАВЧАЛЬНИХ ЗАКЛАДАХ

Анотація: Розглянуто алгоритм вирішення задачі складання розкладу занять у навчальному закладі. Запропонований алгоритм дозволяє за кінцеве число кроків запропонувати суубоптимальний або прийнятний варіант розкладу. При цьому враховуються організаційні, методичні та психофізіологічні вимоги до розкладу.

Ключові слова: Складання розкладу, NP-складна задача, алгоритм покрокового конструювання, важкорозв'язні задачі.

Вступ

Одним із основних документів, що визначають функціонування будь-якого навчального закладу, є розклад занять. Якість складеного розкладу впливає на якість підготовки фахівців і ефективність використання матеріальних ресурсів навчального закладу. Процес складання розкладу занять характеризується безліччю вимог, складністю формалізації методів прийняття рішення та кількісною оцінкою якості отриманого варіанта розкладу. Проблеми впровадження автоматизованої системи складання розкладу пов'язані з наявністю інформаційних зв'язків з іншими підсистемами автоматизованого управління навчальним закладом: контингент учнів, кадровий склад викладачів, аудиторним та лабораторним фондом, оперативним управлінням, матеріально-технічним постачанням. [2].

Постановка задачі

Вхідна інформація для складання розкладу у будь-якому навчальному закладі:

1. Перелік навчальних груп, викладачів, аудиторій, лабораторій.
2. Навчальні, учбові плани для кожної групи.
3. Індивідуальні показники кожного типу заняття, групи, аудиторії, лабораторії, викладача.
4. Перелік обов'язкових вимог до розкладу у цьому навчальному закладі та їх характеристик.
5. Інформація про резервування (блокування) певних часових інтервалів у викладачів, аудиторій, лабораторій (профілактика).
6. Перелік методичних вимог до розкладу в учбовому закладі.

Перелік обов'язкових вимог які забезпечують важливу організаційну можливість проведення занять.

1. Відсутність вікон у студентів.
2. Відсутність накладок у аудиторіях, лабораторіях, груп, викладачів.

Перелік оптимізуючи вимог:

1. Побаження викладачів.
2. Попереднє резервування аудиторій.
3. Рівномірне завантаження днів тижня.
4. Рівномірний розподіл різних видів занять на тиждень. (лекції, семінари, лабораторні, практичні.
5. Рівномірний розподіл занять із однієї дисципліни на тиждень.
6. Рівномірний розподіл занять з урахуванням складності предметів.
7. Зменшення «вікон» у викладачів.

Метою запропонованого алгоритму є:

1. Повне розміщення учбових уроків в просторі учбового тижня.
2. Повне виконання всіх обов'язкових вимог.
3. Максимальне виконання оптимізуючих вимог.
4. Максимальне забезпечення складання розкладу для всіх груп учбового закладу при обмежених ресурсах аудиторного та лабораторного фонду.

Вибір алгоритму рішення

У теоретичному плані ця задача є одним із різновидів задачі призначення і відноситься до класу NP-складних [3]. У відомих алгоритмах складання розкладу використовуються методи теорії графів, планування мереж, дослідження операцій, еволюційних методів. Усі алгоритми можна умовно розбити на чотири групи.

1. Повний або частковий перебір варіантів, їх якісний аналіз та вибір найкращого варіанту [4,8].
2. Застосування евристичного підходу чи формалізація дій диспетчера, який складає розклад [1,6]
3. Застосування еволюційних алгоритмів [5,6,8,9].
4. Спрямований пошук або покрокове конструювання (step by step) розкладу виходячи з обраних критеріїв оптимізації [7].

Алгоритми першого використовуються для навчальних закладів із малим числом груп. Зазвичай розклад складається послідовно по групам. При складанні розкладу кожної нової групи потрібно враховувати зменшення зайнятих ресурсів попередніми групами. Це особливість розв'язання задач із передуманням. Основним недоліком більшості алгоритмів заснованих на цих підходах є необхідність зміни вже зроблених призначень і повторення деяких кроків у разі непридатності розкладу для нової групи. Алгоритми другого виду відносяться до класу евристичних. Вони мають

істотний недолік, що полягає у неможливості оцінити ступінь небезпеки призначення заняття на можливість виконання наступних призначень. Підхід з застосуванням генетичних алгоритмів дозволяє знайти найкращий варіант розкладу для поточної групи. Однак найкращий варіант для поточної групи, як і в попередньому підході, може привести до неспроможності взагалі скласти розклад в наступній. Тоді буде потрібна корекція чи повна зміна раніше складених розкладів, що пов'язано з зміною бази даних. У разі відсутності варіанта повного розміщення заявок по ресурсах може знадобитися повний перебір всіх варіантів, що при великій розмірності рівносильне зациклюванню алгоритму, і робить їх неприйнятними через великі часові витрати. Найбільш привабливими є алгоритми четвертого виду. У запропонованій статті описується один із варіантів реалізації такого алгоритму. Запропонований алгоритм відрізняється від відомих застосуванням поняття “надійного стану системи”. Такий стан дозволяє утримувати систему від виконання небезпечних призначень учбового уроку у временний інтервал, яке може привести до неспроможності виконати наступні призначення.

Опис алгоритму спрямованого пошуку

Мета застосування такого підходу – виключити або зменшити перебір варіантів та забезпечити прийнятну якість складеного розкладу з урахуванням умови передумання.

Для цього в запропонованому алгоритмі використовуються такі принципи :

- Принцип оптимальності Белмана використовується для задач, вирішення яких можна подати у вигляді зв'язаного ланцюжка призначень для досягнення кінцевої мети.
- Принцип MIN – MAX- ного вибору для пошуку призначення кожного уроку.
- Використання принципу “надійного” стану системи.

Відмінність запропонованого алгоритму від відомих полягає в тому, що при складанні розкладу поточної групи будь -яке призначення уроку у часі та просторі не повинно призвести до неможливості призначень на наступних кроках алгоритму. Принцип надійного стану системи використовується в “алгоритмі банкіра” Дейкстра. Під надійним станом системи розуміється стан, у якому виконання чергового кроку розміщення не повинно призвести до конфлікту у наступних. Надійний стан враховується при виборі інтервалу призначення заняття. При цьому враховується кількість дисциплін які претендують на цей часовий інтервал. Це локальний надійний стан. При цьому забезпечується складання розкладу в поточної групи. Крім того система повинна при виборі часу призначення забезпечити рівномірне завантаження загальних ресурсів які розділяються (аудиторій, лабораторій, викладачів). При цьому забезпечується складання розкладу у наступних групах. Це глобальний надійний стан. До вимог, по яким визначається глобальний надійний стан системи відносяться:

1. Рівномірне завантаження викладача по дням тижня.
2. Рівномірне завантаження аудиторій кожного типу по дням тижня і урокам.
3. Рівномірне завантаження лабораторій по дням тижня.

Ні в одному відомому алгоритмі ні враховується як складання розкладу в поточної групі впливає на складання розкладу в наступних групах. Тобто оптимальний розклад в поточної групі при обмежених, ресурсах які розділяються (викладачах, аудиторіях, лабораторіях) може привести до неспроможності складання розкладу у наступної групи або складання розкладу низької якості.

Складання розкладу ґрунтується на наступному представленні варіантів розкладів. Все поле варіантів розкладів можна представити у вигляді пірамідальної структури (Рис. 1). Перший рівень відповідає оптимальним варіантам розкладу за підходом Паретта. У разі неможливості складання оптимального розкладу для всіх груп, розклад складається за вимогою другого рівня. Це варіанти квазіоптимального розкладу. У цьому випадку розклад складається з деяким ослабленням вимог до якості розкладу, але дозволяє скласти розклад більшості груп. При істотних обмеженнях у навчальному закладі ресурсів які розділяються розклад складається у рівні прийнятних варіантів. У цьому полі суттєво зменшуються вимоги до якості розкладу. За таким розкладом можна працювати, але деякі методичні та організаційні вимоги можуть не виконуватися у повному обсязі. Остання зона – це зона неприйнятних варіантів розкладу. У цій зоні невиконання вимог стає критичним і ці варіанти розкладу не можуть бути прийняті до виконання.



Рис. 1. Зони пошуку розкладу

Складність розв'язання задачі складання розкладу визначається сукупністю та взаємозв'язком дисциплін, що входять до навчального плану, структурою навчального тижня, переліком вимог до системи планування.

Вихідною інформацією для вирішення задачі за пропонуваним алгоритмом є сукупність заявок та їх індивідуальні характеристики, що дозволяють визначити ступінь переваги кожної заявки (у діапазоні від 0 до 1) на кожний часовий інтервал дня та тижня (Рис. 2) Визначаються – назва предмета, тип заняття, кількість годин на тиждень, викладач(и) та необхідна аудиторія або лабораторія (рис. 2).

УЧБОВИЙ ПЛАН КЛАССУ						
Предмет	Від заняття	Кількість годин у тиждень	Викладач перший	Кабінет перший	Викладач другий	Кабінет другий
Математика	Лекція	4	Болотов	23		
Математика	Семінар	4	Болотов	23		
Фізика	Лекція	1	Голіков	32		
Фізика	Семінар	2	Голіков	32	Голіков	33
Фізика	Лабораторна	2	Гудзь	32	Голіков	33
Обчислювальна техніка	Семінар	2	Федорів	47	Гедзь	48
Креслення	Лекція	1	Тропін	50		
Хімія	Лекція	2	Чернецька	41		
Українська мова	Лекція	5	Соколов	26		
Англійська мова	Семінар	3	Власов	34	Сідоров	33
Фізкультура	Семінар	3	Жидов	Спорт зал	Сіміна	Спорт зал

Рис. 2. Учебний план однієї групи середньої школи.

Процес складання розкладу поділено на два етапи. Перший етап це розподіл занять у часі (дня та уроку) без призначення аудиторій загального користування але з урахуванням кількості та місткості аудиторій. На наступному виконується призначення аудиторій з урахуванням тривалості переходів учнів з однієї аудиторії до іншої. При виконанні першого етапу враховуються можливості аудиторного фонду навчального закладу. Загальна кількість призначених занять у будь-який часовий інтервал не повинна перевищувати кількості аудиторій певної місткості та типу.

Алгоритм призначення занять у часових координатах тижня містить такі кроки.

1. Формування спеціальної матриці вибору (МВ).
2. Аналіз МВ, діагностика конфліктних ситуацій та вироблення рекомендацій щодо корекції вихідної інформації.
3. Виконання обов'язкових призначень.
4. Вибір предмета для розміщення.
5. Вибір дня тижня та часу проведення уроку в ньому для заняття.
6. Корекція МВ та перехід до п.2 до розміщення всіх занять.

На першому кроці використовується табличний метод управління та формується двомірна булева МВ. У неї відображається можливість розміщення кожного запланованого заняття у кожному часовому інтервалі (дні та уроку). При цьому враховується поточне завантаження груп, викладачів, аудиторій чи лабораторій. Структура МВ та її формування та використання принципово виключають появу накладок або конфліктних ситуацій у кінцевому розкладі. Алгоритм формування МВ на основі табличного метода управління забезпечує виконання обов'язкових вимог до розкладу.

Розглянемо формування рядка МВ на прикладі (рис. 3). Для визначення місця можливого розміщення лекційного заняття L необхідно враховувати поточне завантаження викладача P, аудиторії A та групи G. Позначимо «1» фізичну можливість проведення заняття та «0» — неможливість. Тоді після аналізу вихідної інформації будуть сформовані такі вектори P, A, G.

В результаті виконання логічного множення векторів P, A, G отримуємо результуючий вектор L, де і відображаються ті часові інтервали (дні та пари), в які практично можливе розміщення дисципліни L. Описана операція виконується для всіх дисциплін навчального плану групи, для якої складається розклад. В результаті одержуємо МВ, показану на рис. 4.

Учебний тиждень																									
	Понеділок				Вівторок				Середа				Четвер				Пятниця				Субота				
	Урок				Урок				Урок				Урок				Урок				Урок				
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	
P	0	1	1	1	1	1	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0	1	1	1	1	1	0	1	1	a
A	1	1	0	1	1	1	1	0	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	0	1	1	1	б
G	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	в
L	0	1	0	1	0	1	0	0	1	0	1	1	0	0	0	0	1	1	0	1	0	0	1	1	

Рис. 3. Формування рядка МВ

Учебний тиждень																									
Понеділок				Вівторок				Середа				Четвер				Пятниця				Субота					
Урок				Урок				Урок				Урок				Урок				Урок				Дисципліна	
1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4		
1	1	1	1	0	0	1	1	0	0	0	1	1	1	1	1	0	1	0	1	0	1	1	0	0	Фізика
0	1	1	1	0	1	1	0	1	1	1	1	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	Біологія	
1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	0	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	0	0		1	Фізкультура
1	0	0	1	1	0	1	1	1	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	Математика

Рис. 4. Вибір дисципліни для розміщення

На наступному кроці виконується аналіз МВ. У разі неможливості розміщення якогось запланованого заняття у сітці тижня проводиться детальний аналіз конфлікту, визначається його причина та в автоматичному чи інтерактивному режимі здійснюється корекція вихідної інформації. Запропонована форма МВ дозволяє виділити призначення, які є обов'язковими, тобто. мають єдине місце розміщення. Воно фіксується і МВ корегується. Тобто с МВ забираються розміщене заняття і зайнятий часовий інтервал. При цьому розмірність розв'язання задачі зменшується, а МВ корегується. На наступному кроці вибирається дисципліна та час для розміщення. Для цього використовується принцип MIN – MAX ного вибору. Тобто спочатку вибирається дис-

ципліна, що знаходиться у гіршому становищі стосовно інших. Для цього для кожної дисципліни підраховується кількість можливих місць розміщення. Для кожної дисципліни обчислюється коефіцієнт вибору K_{vi} та вибирається дисципліна, що має мінімальне значення K_{vi} . Для цього визначається сума одиниць чи можливих місць розміщення вибраної дисципліни і у сітці тижня. Тут використовується сформована та скоригована на попередніх кроках МВ'. Ця стратегія зменшує можливість переходу системи у локальний ненадійний стан (рис. 5). Наступний крок призначений для визначення часового інтервалу розміщення обраної на попередньому кроці дисципліни. Для кожного можливого місця розміщення в сітці тижня (дня і уроку t) дисципліни обчислюється коефіцієнт претендування $K_{p,t}$, який є комплексним коефіцієнтом, що враховує виконання оптимізуючи вимоги, для кожного можливого місця розміщення обраної дисципліни. При обчисленні $K_{p,t}$ враховується стан системи планування, тобто, розташування вже призначених занять та вагові коефіцієнти кожної вимоги.

Використання вагових коефіцієнтів дозволяє адаптувати, налаштувати систему до навчального закладу. $K_{p,t}$ обчислюється з виразу

$$K_{p,t} = K_{k,t} \times \prod_{x=1}^n R_{x,t} \times \sum_{y=1}^N (K_y \times R_{y,t}), t \dots 1,$$

де: $K_{k,t}$ - Коефіцієнт безпеки призначення обраного заняття L в часовий інтервал t (при його обчисленні враховується ступінь претендування інших дисциплін на розміщення в аналізованому інтервалі t); R_x , - t ступінь виконання обов'язкової вимоги x у часовій інтервал t (може набувати значення 0 або 1); R_y , - t ступінь виконання оптимізуючи вимоги y в часовий інтервал t (може приймати значення від 0 до 1); K_y - ваговий коефіцієнт R_y вимоги (значення визначаються методом експертних оцінок або підбираються експериментальним шляхом під час експлуатації системи).

Учбовий тиждень																								
	Пон			Вівторок				Середа				Четвер				Пятниця				Субота				K_{vi}
Дисципліна	Урок 1 2 3 4			Урок 1 2 3 4				Урок 1 2 3 4				Урок 1 2 3 4				Урок 1 2 3 4								
Фізика	1	1	1	1	0	0	1	1	0	0	0	1	1	1	1	0	1	0	1	0	0	6		
Біологія	0	1	1	1	0	1	1	0	1	1	1	1	0	0	0	1	0	0	0	1	1	5		
Фізкультура	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	0	1	1	1	1	1	0	1	1	0	1	6		
Математика	0	0	1	1	1	0	1	1	1	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	1	5		
Хімія	0	0	0	0	1	0	1	1	1	0	0	1	1	0	1	0	1	1	1	1	0	5		
Географія	1	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	1	0	0	0	3		
Іноземна мова	0	1	0	1	0	0	0	1	1	1	0	1	0	0	0	1	1	0	1	0	0	5		

Рис. 5. Пример выбора времени проведения занятий.

В результаті обчислення коефіцієнтів Kp, t у часовому інтервалі t з максимальним значенням коефіцієнта Kp, t виконується призначення заняття L у цей часовий інтервал. При цьому необхідно скоригувати завантаження викладачів, аудиторій чи лабораторій та записати відповідну інформацію до розкладу групи. З іншого боку виконується корекція МВ, тобто. « занулюється » рядок розподіленої дисципліни та стовпець, що відповідає часовому інтервалу, на який ця дисципліна розподілена і виконується перехід до п. 2 алгоритму. Описані вище кроки повторюються до складання розкладу.

РОЗКЛАД ДЛЯ КЛАСА 9А						
	Понеділок	Вівторок	Середа	Четвер	Пятниця	Субота
1 урок 8.30-9.15	Українська мова Лекція.	Фізкультура Семинар	Біологія Лекція	Українсько мова Лекція.	Фізика Семинар	Креслення Лекція
2 урок 9.20-10.05	Українсько мова Лекція.	Хімія Лекція	Фізика Лекція	Українська мова Лекція.	Хімія Лекція	Історія Лекція
3 урок 10.15-11.00	Іноземна мова Семинар.	Креслення Лекція	Історія Лекція	Фізкультура Семинар	Географія Лекція	Фізика Лаб.
4 урок 11.15-12.00	Обчислювальна на Техніка Лекція	Математика Лекція.	Географія Лекція	Іноземна мова Семинар.	Обчислювальна Техніка Лекція	Математика Лекція.

Рис. 6. Приклад готового розкладу

Висновки

1. Виконання попереднього аналізу вихідної інформації та визначення стратегії її реалізації дозволяють:

- а) визначити важливу можливість отримання рішення;
- б) локалізувати причину конфлікту;
- в) визначити обов'язкові призначення;
- г) визначити призначення, що призводять до конфлікту;

2. Використання концепції надійного стану системи планування та обчислення коефіцієнтів $K_{vi}, K_{k,t}$ дозволяє:

- а) виключити конфліктні призначення;
- б) практично уникнути повторення вже виконаних кроків.

3. Застосування описаного алгоритму на основі методу спрямованого пошуку (покрокового конструювання) дозволило детермінувати кількість кроків формування розкладу. Число кроків за цим алгоритмом дорівнює кількості занять за навчальним планом.

Приблизний час складання розкладу для однієї навчальної групи з 36 уроками на тиждень вимагає до 0,05 секунди машинного часу в залежності від використовуваного комп'ютера.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Берегових Н.О., Алгоритм складання розкладу занять/ Н.О.Берегових, Б.А. Васильєв, М.О. Володін – Государственный университет информатики и искусственного интеллекта, Рг. Донецк, Украина: Ж. «Искусственный интеллект» № 2. Б2. 2009– 50–56 с.
2. Бульонков М.А. К стандартизации данных для составления расписания в учебных заведениях/ М.А.Бульонков, П.Г.Емельянов, Е.В.Пак – Открытое образование. 2010 – № 3 – 45–57 с.
3. Гери М.Р., Джонсон Д.С. Вычислительные машины и труднорешаемые задачи/ М.Р. Гери, Д.С. Джонсон – М: Мир, 1982. – 416 с.
4. Гайтан О.М. Автоматизація генерації розкладу навчального процесу університету / О.М. Гайтан // Вчені записки ТНУ імені В.І. Вернадського. Серія: Технічні науки. – К. : Гельветика, 2020. – Т. 31 (70).– Ч. 1, № 2. –58-66 с.
5. Дімова Г.О. Розробка моделі складання розкладу занять методом еволюційного пошуку/ Таврійський науковий вісник. Серія: Технічні науки. Херсон : Видавничий дім «Гельветика», 2022. Вип. 2. 66 с.
6. Кисіль В.В., Драч І.В., Кисіль Т.М. Модель задачі складання та оптимізації розкладу занять за умови задоволення об'єктивних та суб'єктивних вимог навчального закладу/ В. В. Кисіль І.В.Драч, Т. М.Кисіль — Вчені записки ТНУ імені В.І. Вернадського. Серія: технічні науки. 2019. Том 30 (69) Ч. 1. №6. 65-70с.
7. Симоненко В.Метод поетапного конструювання для складання расписания занятий в учебных заведениях/ В. Симоненко, С. Симоненко – Ж. System Research & Information Technologies, 2008, No 4. 76-85 с.
8. Томашевський В.М. Складання розкладів занять у дистанційних системах навчання / В.М.Томашевський, Ю.Л. Новіков, П.А. Камінська – Вісник Національного технічного університету України "КПІ". Інформатика, управління та обчислювальна техніка. -2010. – Вип.52.- 118-130с. – Режим доступу: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Vkpi_iuot_2010_52_20
9. Zanevych O. ПРО Розв'язування задачі складання розкладу занять, використовуючи генетичний алгоритм /О. Zanevych, V. Kukharskyu— Вісник Львівського університету 2019. N27. 136- 143 с.