

AN APPLICATION OF THE CPM ALGORITHM TO THE PLANNING OF A DATA STRUCTURES COURSE

VALENTINA S. DYANKOVA
MIHAELA D. TODOROVA-KUTSAROVA

ABSTRACT: *This paper presents an application of the Critical Path Method (CPM) algorithm for developing a formal model of the learning process in a Data Structures course. The proposed model captures the semantic dependencies among key concepts and is tailored to the learner's entry profile and the time constraints associated with achieving specific learning objectives. The study emphasizes the adaptation of the CPM algorithm to enable effective planning and optimization of learning time.*

KEYWORDS: *CPM algorithm, Data structures, Critical Path, Graphs*

2010 Math. Subject Classification: 05C85

ЕДНО ПРИЛОЖЕНИЕ НА СРМ АЛГОРИТЪМА ЗА ПЛАНИРАНЕ НА УЧЕБЕН ПРОЦЕС ПО СТРУКТУРИ ОТ ДАНИИ

ВАЛЕНТИНА С. ДЯНКОВА,
МИХАЕЛА Д. ТОДОРОВА-КУЦАРОВА

1. Въведение

Изкуственият интелект и уеб-базираните образователни ресурси са неделима част от съвременния процес на обучение и в същото време поставят сериозни предизвикателства пред него, свързани с нараснало търсене на възможности за учене през целия живот, интерес към тясно профилирани и специфични знания и умения, различна продължителност на учебния процес, съобразен с индивидуалния профил на обучаемия и спецификата на

поставените цели. Това по естествен начин акцентира върху намиране на възможности за оптимално планиране на учебния процес, което е релевантно на текущите знания и умения на обучаемия, времевите ограничения и спецификата на целите. Този процес може да бъде ефективно планиран чрез използване на технологични решения, основаващи се на ефективно управление на знанията.

Целта на настоящата разработка е да представи едно приложение на теорията на графите за създаване на модул за управление на знанията по Структури от данни. Акцентирано е върху възможността за използване на метода на критичния път (CPM алгоритъм) за създаване оптимален времеви учебен план, съобразен с текущия профил на обучаемия, целите и времевите ограничения.

Представените в разработката идеи се базират на опита на авторите в разработването на система за онлайн обучение по структури от данни и обучението на състезатели по информатика (студенти и ученици), студенти с индивидуален план на обучение, стажанти в софтуерни фирми, начинаещи програмисти. Представените резултати са интегрирани в модул за времево планиране на учебните единици в система за онлайн обучение DSELearning, който в момента е в период на апробация.

2. CPM алгоритъм

Методът на критичния път (CPM - Critical Path Method) е техника за планиране и управление на задачите, необходими за изпълнение и финализиране на проект от дейности. Той е особено ценен за проекти с множество взаимозависими дейности, тъй като позволява да бъдат открити потенциални пречки и възможности за ефективно разпределение на ресурсите. Този метод намира приложение в извличане на пътя на кибератаки [1], планиране на проекти с програмиране [2], [3], разпределени потоци от данни [4], управление на строителни проекти [5]. Навлизането на Изкуствения интелект във всички сфери на съвременния живот поставя нови предизвикателства пред използването на CPM

алгоритъма. В този аспект интерес представляват неговите приложения за изграждане на интелигентни системи за планиране на тежки проекти за гражданско строителство [6], интегриране на изкуствения интелект в практиките за управление на проекти [7].

Целта на CPM алгоритъма е да идентифицира най-дългата последователност от взаимносвързани дейности (критичния път), за да бъде определено минималното време за завършване на даден проект. Откриването на критичните дейности подпомага ефективното разпределение на ресурсите, осигуряващо тяхното изпълнение в срок.[8]

Всеки проект се състои от определен брой дейности, някои от които зависят от други. В този смисъл мрежата от дейности за един проект може да се представи чрез граф. Всеки връх в този граф съответства на конкретно състояние на проекта, а всяко ребро между два върха - на дейност. Дейността, която привежда проекта от състояние i в състояние j , ще бъде означавана като $\langle i, j \rangle$. Всяка такава дейност има време, за което се изпълнява. Времето за изпълнение ще бъде означавано с $t(i, j)$.

Прилагането на CPM алгоритъма изисква изчислението на следните величини [9]:

- $ee(i)$ - най-ранното възможно време (*earliest event time*), в което проектът ще бъде в конкретно състояние i . За всички върхове, които нямат предшественици, тази стойност е 0. Ако събитието i има един или повече предшественици j , тази стойност е равна на $\max(ee(j) + t(j, i))$

- $le(i)$ - най-късното възможно време (*latest event time*), в което проектът ще бъде в конкретно състояние i . Тази стойност е равна на $\min(ee(j) - t(i, j))$ от всички преки наследници j на състоянието i .

- $EST(i, j) = ee(i)$ - най-ранното време на започване на дейност $\langle i, j \rangle$.

- $ECT(i, j) = ee(i) + t(i, j)$ - най-ранното време на завършване на дейност $\langle i, j \rangle$.

• $LST(i, j) = le(j) - t(i, j)$ - най-късното време на започване на дейност $\langle i, j \rangle$.

• $LCT(i, j) = le(j)$ - най-късното време на завършване на дейност $\langle i, j \rangle$.

• $SLACK(i, j) = LST(i, j) - EST(i, j)$ - толеранс. За всяка дейност, лежаща на критичния път, тази стойност е 0. По този начин дейностите с толеранс 0 маркират критичния път.

Ползите от използването на CPM в планирането на даден проект могат да бъдат обобщени в следните групи:

• *Намаляване на закъсненията.* Методът помага да се идентифицира най-важната последователност от задачи в даден проект, което може да бъде използвано за избягване на закъсненията преди тяхното настъпване.

• *Създаване на логическа диаграма на дейностите в проекта.* Методът се основава на изброяването на всички дейности в процеса и зависимостите между тях. Създадената по този начин диаграма помага за визуализиране на зависимостите и възможностите за приоритизиране на определени задачи.

• *Подобряване на организацията.* В сложни проекти CPM помага за разделяне на резултатите на последователности, а последователностите - на задачи. Допълнителното визуализиране на зависимостите, задаването на ограниченията и дефинирането на критичния път на задачите подобрява организацията на проекта, което повишава ефективността на управление на неговото управление.

• *Оптимизиране на ефективността.* Идентифицирането на критичния път маркира важните задачи в проекта. Това може да бъде използвано за преразпределение на ресурсите съобразно тяхната роля за ефективното изпълнение на важните задачи.

• *Изчисляване на плаващите ресурси.* Плаващите ресурси определят с колко може да се забави една задача, без това да повлияе на графика на проекта. Това е от съществено значение за ефективното разпределение на ресурсите.

3. Планиране на учебен процес по структури от данни чрез CPM

За прилагането на CPM алгоритъма в управлението на знанията по структури от данни се предполага, че:

А) Управлението на проекта изисква планиране на учебното време и учебните единици с цел усвояване на знанията и уменията, които са включени в учебната програма по Структури от данни.

Б) Едно конкретно състояние i на проекта се отъждествява с текущия профил на обучаемия, включващ вече усвоените знания и умения.

В) Дейността $\langle i, j \rangle$, която привежда проекта от състояние i в състояние j , включва учебния процес, който ще приведе системата от знания и умения на обучаемия от състояние i в състояние j .

За определянето на критичния път в процеса на обучение по Структури от данни се преминава последователно през дадените по-долу шест основни етапа.

Етап 1. Определяне на всички състояния, съответстващи на вече усвоени знания и умения, в термините на изучаваните понятия по Структури от данни.

Множеството от тези състояния зависи от поставените цели и входящия профил на обучаемия. Едно примерно съдържание на това множество може да бъде {указател, масив, стек, опашка, дек, приоритетна опашка, списък, двоично дърво за търсене, граф}

Етап 2. Определяне на всички зависимости между състоянията.

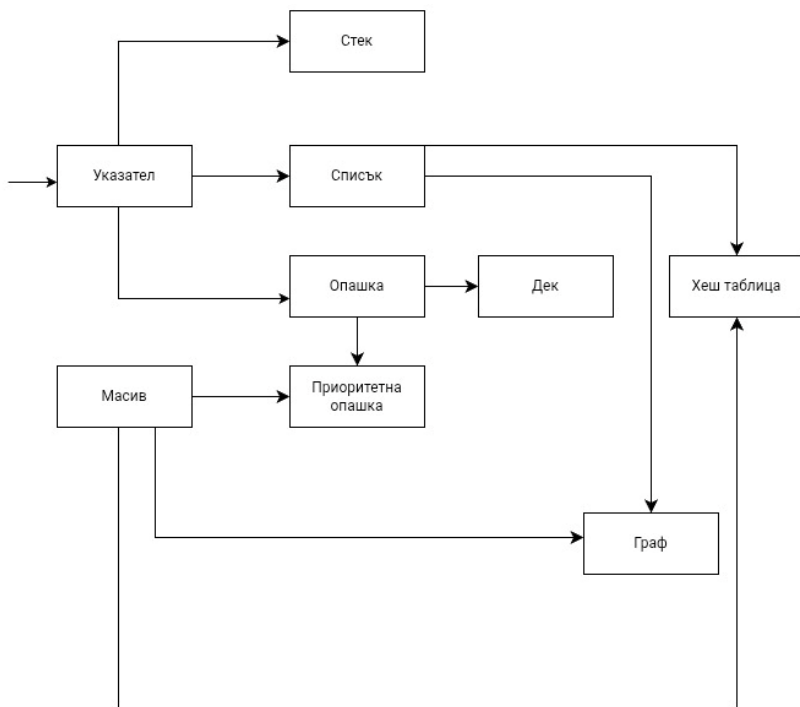
В термините на този етап състоянията биват зависими и паралелни. Състояние i , което зависи от друго състояние j , е зависимо по отношение на знанията, които трябва да притежава обучаемият, за да може да премине от състояние j в състояние i . Две състояния i и j са паралелни, ако те са независими по отношение на знанията, които трябва да притежава обучаемият.

Примери за зависими състояния са:

- Хеш-таблица $\rightarrow$ масив, списък
- Граф $\rightarrow$ масив, списък, указател

- Приоритетна опашка → масив
- Стек → указател

Паралелни състояния могат да бъдат опашка и стек, защото обучаемият може да изучи стек без да има знания за опашка и обратно.



Фигура 1: Мрежа от дейности за базови понятия по Структури от данни

Етап 3. Създаване на мрежата от дейности.

Мрежата от дейности се представя чрез ориентиран граф, върховете на който са състоянията, през които трябва да се премине. Ребрата на графа свързват определените в етап 2

зависими състояния и представят дейностите, които трябва да бъдат извършени.

На фиг. 1 е даден един примерен граф, представящ мрежата на дейностите за усвояване на знания и умения за работа с базови понятия по Структури от данни.

Етап 4. Оценка на времето за всяка дейност.

Използвайки миналия опит и знанията на авторите, се оценява времето за извършване на всяка дейност. Времето се оценява в брой учебни часове, необходими за усвояване на знанията, които привеждат обучаемия от състояние i в състояние j .

За оценка на времето се използва метода на 3-точковата оценка, който е предназначен да придаде по-голяма тежест на реалистичния срок. За целта трябва да се изготвят следните три времеви оценки за всяка дейност, базирани на предишен опит или най-добро предположение:

a - време в най-добрия случай

m - най-вероятно време

b - време в най-лошия случай

За определяне на времето за извършване на съответната дейност се използва метода на триъгълното разпределение по формулата:

$$(1) \quad t = (a + m + b)/3$$

Този метод не дава по-голяма тежест на най-вероятното време, както това е при използването на среднопретеглената стойност. Причината за този избор е, че планът за работа се изготвя в начален етап, на който не са известни навиците на обучаемия за отговорно отношение към учебния процес.

Етап 5. Определяне на критичния път.

Определянето на критичния път става чрез изчисление на стойностите на времената, описани в точка 2. Програмната реализация използва представяне на графа чрез списъци на съседство, т.е. масив *states* за състоянията и списъци на съседство с възел за всяка дейност. Възлите, представлящи дейностите, съдържат номера на състоянието и пресметнатото в етап 4 време.

За изчислението на стойностите $ee(i)$ състоянията се обхождат в топологична наредба.

Етап 6. Определяне на плаващите периоди.

Плаващ период е времето, през което една дейност може да бъде отложена, без да се стигне до забавяне на крайния срок. Изчисляването на плаващия период може да помогне за преразпределяне на ресурсите. Ако дадена дейност има висок плаващ период, могат да бъдат пренасочени ресурси към задача с по-висок приоритет. Големината на плаващия период се определя от стойността на $SLACK(i, j)$.

Резултатът от прилагането на CPM в планирането на учебната дейност е списък от дейностите, които трябва да бъдат извършени заедно с тяхната продължителност в учебни часове.

4. Заключение

Полученият чрез използване на CPM план за обучение е съобразен с текущия профил на обучаемия. Този профил съдържа информация за всички, усвоени до момента, знания и умения, което позволява да се изготви строго индивидуален план за обучение. Този подход не може да замени напълно ролята на преподавателя в този процес, тъй като в редица случаи учебният процес трябва да бъде съобразен със субективните характеристики на обучаемия. Той обаче освобождава преподавателя от извършването на трудоемката дейност по определяне на последователността от базови теми въз основа на сложните връзки в графа на знания.

ЛИТЕРАТУРА:

- [1] Levner, Eugene, and Dmitry Tsadikovich. "Fast Algorithm for Cyber-Attack Estimation and Attack Path Extraction Using Attack Graphs with AND/OR Nodes." *Algorithms* 17.11 (2024): 504.
- [2] Raranta, Meliska Eviany, Fabian J. Manoppo, and Grace Yoyce Malingkas. "Implementation of the Critical Path Method (CPM) in Web Applications for Project Scheduling with Python Programming." *Journal of Social Research* 4.7 (2025): 1844-1854.

- [3] Santiago, Jesse, and Desirae Magallon. "Critical path method." CEE320, Winter 2013 (2009).
- [4] Durrman, Dante, and Erik Saule. "Optimizing the critical path of distributed dataflow graph algorithms." 2023 IEEE International Parallel and Distributed Processing Symposium Workshops (IPDPSW). IEEE, 2023.
- [5] Kadang T., Hidayah P.W., Simarmata K., Putri N. A., Krisvinus. "Analysis of Consultant Building Project Management Using the CPM". Journal of Business Management and Economic Development, Volume 2 Issue 03, September 2024, pp 1169 – 1179
- [6] Panchal P. B. "Use of Integrated Intelligence Scheduling System (IISS) for Heavy Civil Construction Projects". Journal of emerging technologies and innovative research (JETIR), Volume 12, Issue 5, May 2025
- [7] Shamim M. I. "Artificial Intelligence in Project Management: Enhancing Efficiency and Decision-making". International Journal of Management Information Systems and Data Science, 2024, 1(1), 1-6
- [8] Ren, Yongchang, et al. "Study of using critical path method to formulate the algorithm of software project schedule planning." 2010 3rd International Conference on Information Management, Innovation Management and Industrial Engineering. Vol. 4. IEEE, 2010.
- [9] Алгоритми и структури от данни в C++, Лендерт Амерал, 2001

Валентина Дянкова

Факултет по математика и информатика
Шуменски университет „Епископ К. Преславски“
e-mail: vspasova@shu.bg

Михаела Тодорова-Куцарова

Факултет по математика и информатика
Шуменски университет „Епископ К. Преславски“
e-mail: mihaela.todorova@shu.bg