

Аспірант Юрович І.В.; д.т.н., проф. Зайцев В.Г.

Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

СПОСІБ ВИЗНАЧЕННЯ ЧАСУ ПОЯВИ І КІНЦЕВОГО ТЕРМІНУ ВИКОНАННЯ ЗАДАЧ У КОМП'ЮТЕРНИХ СИСТЕМАХ РЕАЛЬНОГО ЧАСУ

Abstract

I.V. Yurovych; V.H. Zaitsev

*Method for determining the arrival time and deadline of tasks in
real-time computer systems*

This paper presents a method for determining the arrival time and deadline of tasks in real-time computer systems. The proposed approach takes into account the dynamic nature of task occurrence and their conditional dependencies, which are often neglected in traditional static models. The method enables accurate timing analysis of task chains and ensures compliance with system-level timing constraints, supporting further research in schedulability and real-time system verification.

Вступ

Проектування комп'ютерних систем реального часу (КСРЧ) вимагає точного визначення часових характеристик задач для забезпечення своєчасного виконання критичних операцій [1]. Основними часовими параметрами, які необхідно визначити, є: час появи задачі, час виконання задачі та кінцевий термін виконання [2]. Ці параметри є фундаментальними для роботи планувальників задач та моделювання поведінки системи.

Традиційні підходи до моделювання КСРЧ базуються на припущенні про статичний або передбачуваний характер появи задач [3]. Однак сучасні системи реального часу характеризуються динамічною природою появи задач, коли нові задачі можуть з'являтися під час роботи системи залежно від результатів виконання попередніх задач або зовнішніх подій [4]. Це створює додаткові виклики для визначення часових характеристик на етапі проектування системи.

Постановка задачі

Задача полягає у дослідженні способу визначення часу початку виконання та максимально допустимого терміну завершення виконання

задач у системах реального часу, що враховуватиме динамічну природу появи задач.

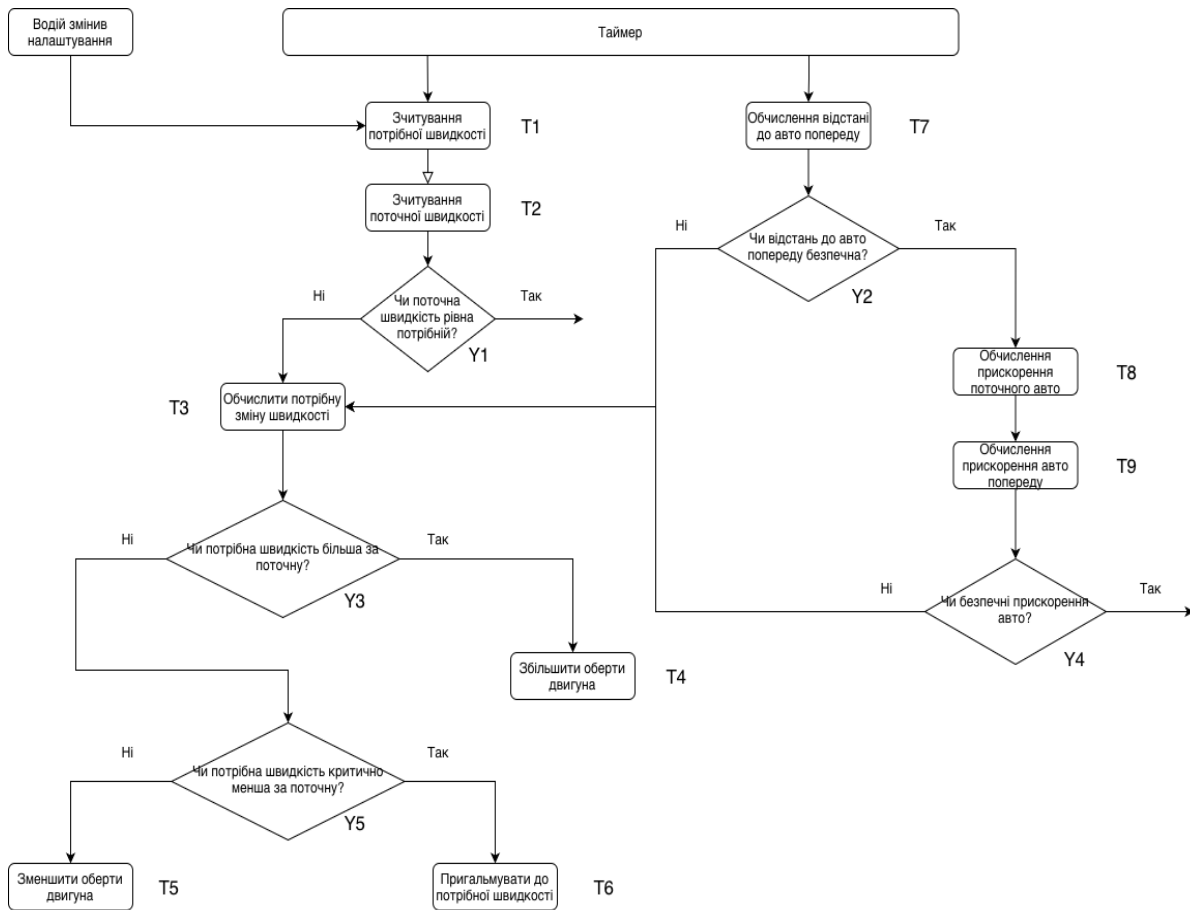
Визначення часу появи задачі

Є задачі, які виникають внаслідок зовнішніх чинників, наприклад зміна бажаної швидкості автомобіля або дистанції. Також є періодичні задачі, які з'являються за певним графіком. Визначення часу їх появи є критично важливим для забезпечення належного виконання задач системи реального часу. Ще один тип задач становлять такі, що виникають після обробки результатів інших задач і залежать від отриманих ними даних, тобто для свого обчислення використовують результат, згенерований попередньою задачею.

Для наглядного прикладу розглянемо алгоритм роботи адаптивного круїз контролю (АКК) [6], зображеного на рисунку 1. Аналізуючи блок схему алгоритму роботи адаптивного круїз контролю, обрахуємо час появи усіх задач з алгоритму АКК:

- Задачі T1 та T7 є періодичними, запускаються від системного таймера і виконуються паралельно. Отже, час їх появи буде рівний 0 або t_{start} .
- Задача T2 виконується завжди послідовно після виконання задачі T1, отже час її появи завжди рівний $a2 = a1 + c1$.
- Задача T3 є умовною, тобто може виникати не завжди. Вона може з'явитися тільки після виконання задачі T2 та за умови Y1. Отже, час її появи дорівнює $a3 = a2 + c2$. Задача T3 також може бути викликана після результату виконання задач T7 або T9. Отже $a3 = a7 + c7$, за умови не виконання Y2, а також $a3 = a9 + c9$ за умови не виконання Y4.
- Задачі T4, T5, T6 мають однаковий час появи, проте виникають за різних умов, отже $a4 = a5 = a6 = a3 + c3$. Проте T4 виникне лише за виконання умови Y3. T5 виникне лише за умови не виконання Y5, а натомість T6 виникне за умови виконання Y5.
- Задача T8 має залежність на результат виконання T7, отже $a8 = a7 + c7$, проте виникне лише за умови виконання умови Y4.
- Задача T9 є послідовною до T8, та виникне завжди після виконання T8, отже $a9 = a8 + c8$.

Рис. 1. Алгоритм роботи АКК



Визначення кінцевого терміну виконання задачі

У системах реального часу дедлайн (граничний термін) виконання задачі визначає найпізніший допустимий момент її завершення відносно моменту її появи або старту, після якого продуктивність або безпека системи можуть бути порушені. Для систем керування, таких як адаптивний круїз-контроль, дедлайни зазвичай визначаються на основі кінцевих обмежень затримки керування — тобто часу, який система може витратити від моменту зчитування даних із сенсорів до формування та застосування керуючої дії.

Основна мета визначення дедлайнів — забезпечити, щоб сукупна затримка ланцюга задач не перевищувала системного дедлайну. Для систем АКК дедлайн визначається вимогами безпеки та стабільності руху, і зазвичай становить 500 мс [5].

Враховуючи час виконання кожної з задач алгоритму АКК, що визначений у статті [6], пропорційним методом було визначено кінцеві терміни кожного з можливих варіантів комбінацій задач алгоритму АКК, які представлені у таблиці 1.

Таблиця 1

Терміни виконання комбінацій задач

Комбінація задач	Сума часу виконання	Максимальна затримка
{T1, T2, T3, T4}	170	352
{T1, T2, T3, T6}	240	498
{T1, T2, T3, T5}	170	352
{T7, T8, T9}	150	204
{T7, T8, T9, T3, T6}	365	497
{T7, T8, T9, T3, T5}	295	402
{T7, T8, T9, T3, T4}	295	402

Застосований пропорційний метод розподілу дозволив забезпечити відповідність сумарного часу виконання всіх ланцюгів системному обмеженню у 500 мс, що гарантує своєчасне реагування системи на зміни дорожньої ситуації.

Отримані результати підтвердили, що жоден із ланцюгів задач (ані контур керування швидкістю, ані контур контролю дистанції) не перевищує встановленого абсолютного дедлайну. Такий підхід забезпечує часову детермінованість, передбачуваність роботи алгоритму та узгодженість між сенсорними, обчислювальними та виконавчими модулями. Визначені дедлайни можуть бути використані для подальшої верифікації системи, аналізу планувальників та оптимізації пріоритетів задач у реальному часі.

Висновки

У роботі запропоновано спосіб визначення часу появи та кінцевого терміну виконання задач у комп'ютерних системах реального часу, який враховує динамічну природу виникнення задач під час роботи системи. На відміну від традиційних статичних підходів, запропонований спосіб дозволяє враховувати умовні залежності між задачами та вплив результатів попередніх обчислень на появу наступних.

Розроблений підхід забезпечує формалізоване визначення моментів активації задач та їх дедлайнів з урахуванням взаємозв'язків у ланцюгах виконання. Застосування пропорційного методу розподілу часу дозволило забезпечити дотримання системного обмеження у 500 мс, що гарантує своєчасне реагування алгоритму адаптивного круїз-контролю на зміни дорожньої ситуації.

Отримані результати можуть бути використані для аналізу планувальників, оптимізації пріоритетів задач, а також для верифікації часової коректності систем реального часу на етапах проектування та тестування.

Література

1. Wang X., Zhiwu L., Moor T. SCT-based priority-free conditionally-preemptive scheduling of modular real-time systems with exact task execution time. *Discrete Event Dynamic Systems. Discrete Event Dynamic Systems*. 2019. вип. 29. URL: <https://doi.org/10.1007/s10626-019-00288-8>.
2. Buttazzo G. *Hard Real-Time Computing Systems: Predictable Scheduling Algorithms and Applications*. Springer, 2011.
3. Liu C., Layland J. Scheduling Algorithms for Multiprogramming in a Hard-Real-Time Environment. *Journal of the ACM*. 1973. Т. 20. С. 46–61. URL: <https://doi.org/10.1145/321738.321743>.
4. Task-Degradation Aware Adaptive Dynamic Scheduling for Priority-Based Automotive Cyber-Physical Systems / K. Zhao та ін. *IEEE Access*. 2024. Т. 12. С. 168690–168706. URL: <https://doi.org/10.1109/access.2024.3490698>.
5. Brunner J., Makridis M., Kouvelas A. Comparing the observable response times of ACC and CACC systems. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*. 2022. Т. 23. С. 19299 – 19308. URL: <https://doi.org/10.1109/tits.2022.3165648>.
6. Юрович І., Зайцев, В. (2025). Метод визначення часу виконання програм у системах реального часу. *Управління розвитком складних систем*, (63), 212–222. <https://doi.org/10.32347/2412-9933.2025.63.212-222>