УДК 004.75

Г.М. ЖОЛТКЕВИЧ
Харківський національний університет ім. В.Н. Каразіна, Харків, Україна,
e-mail: *g.zholtkevych@karazin.ua*.

А.В. ЗОЗУЛЯ
Харківський національний університет ім. В.Н. Каразіна, Харків, Україна,
e-mail: *anna.zozulia@karazin.ua*.

РЕАЛІЗОВНІСТЬ ДІАГРАМ ПОДІЙ ТА ІСНУВАННЯ ЛОГІЧНИХ ГОДИННИКІВ

Анотація. Розглянуто проблему зв'язку між коректністю діаграми подій розподіленого обчислення з погляду комунікації між локальними процесами цього обчислення та існуванням для такої діаграми логічного годинника. Проблему досліджено за допомогою програми The Coq Proof Assistant без припущення про справедливість закону виключення третього. Інакше кажучи, отримані результати є коректними з погляду конструктивної логіки, що важливо для комп'ютерних наук. Формально доведено, що існування логічного годинника для розподіленого обчислення забезпечує ірефлексивність причинно-наслідкового зв'язку, пов'язаного з цим обчисленням. Сформульовано гіпотезу про справедливість оберненого твердження.

Ключові слова: розподілені обчислення, хмарна платформа, блокчейн, цифрові розподілені реєстри, глобальний час, логічний годинник, упорядкування подій.

ВСТУП

Нині відбувається швидкий і всеохопний перехід до хмарних технологій. Дедалі більше обчислювальних ресурсів і даних мігрують у хмару. Через це зростає важливість розподілених обчислень, коли завдання розбивають на частини і виконують на різних комп'ютерах, часто розташованих у різних географічних точках.

Розподілені програмні рішення, зокрема блокчейн [1] та цифрові розподілені реєстри [2], стають незамінними інструментами для забезпечення прозорості та довіри в різних галузях, зокрема в електронному бізнесі, електронному урядуванні, електронній охороні здоров'я тощо. Ці технології дають змогу створювати та зберігати незмінні записи про транзакції та події в розподіленому вигляді, що унеможливлює їхню фальсифікацію та значно знижує ризики втрати інформації.

Однак однією з ключових проблем розподілених систем є відсутність способу вимірювання глобального часу (див. [3]). Кожен комп'ютер у системі має свій таймер, який не є синхронізованим (і не може бути точно синхронізованим) з іншими. Це ускладнює визначення загальної послідовності подій, якщо вони відбуваються в різних частинах системи.

Водночас визначення логічно послідовного лінійного впорядкування системних подій є критично важливим для багатьох застосунків, особливо тих, що призначені для використання у предметних галузях, в яких прозорість і довіра є важливими. Цей порядок визначає, яка подія сталася раніше, а яка пізніше.

Одним з відомих способів розв'язання проблеми відсутності глобального часу в розподілених системах є використання логічного годинника (див. [4]). Логічний годинник — це алгоритм, який дає змогу кожному обчислювальному вузлу системи присвоювати подіям свої мітки часу узгоджено, не порушуючи причинно-наслідкові зв'язки. Мітки часу визначають частковий порядок подій у системі, тобто встановлюють, яка подія може передувати іншій. Водночас цей алгоритм не завжди однозначно визначає, яка подія сталася раніше в глобальному часі для логічно незалежних (конкурентних) подій.

© Г.М. Жолткевич, А.В. Зозуля, 2025