

Математическое моделирование производительности программно-технических комплексов на основе клеточных автоматов

Производительность программно-технических комплексов (ПТК) представляет собой комплексную оценку параметров (показателей) функционирования вычислительной системы за определенный период времени t [1]. Производительность ПТК также выражается функцией $c_v(t)$, имеющая характеристику скорости изменения обобщенных оценок $c_t(t)$ за определенный отрезок времени в виде производной (1):

$$c_v(t) = dc_t(t)/dt; \quad (1)$$

Оценка производительности $c_t(t)$ принимает значения от 0 до 1 (рис. 1).

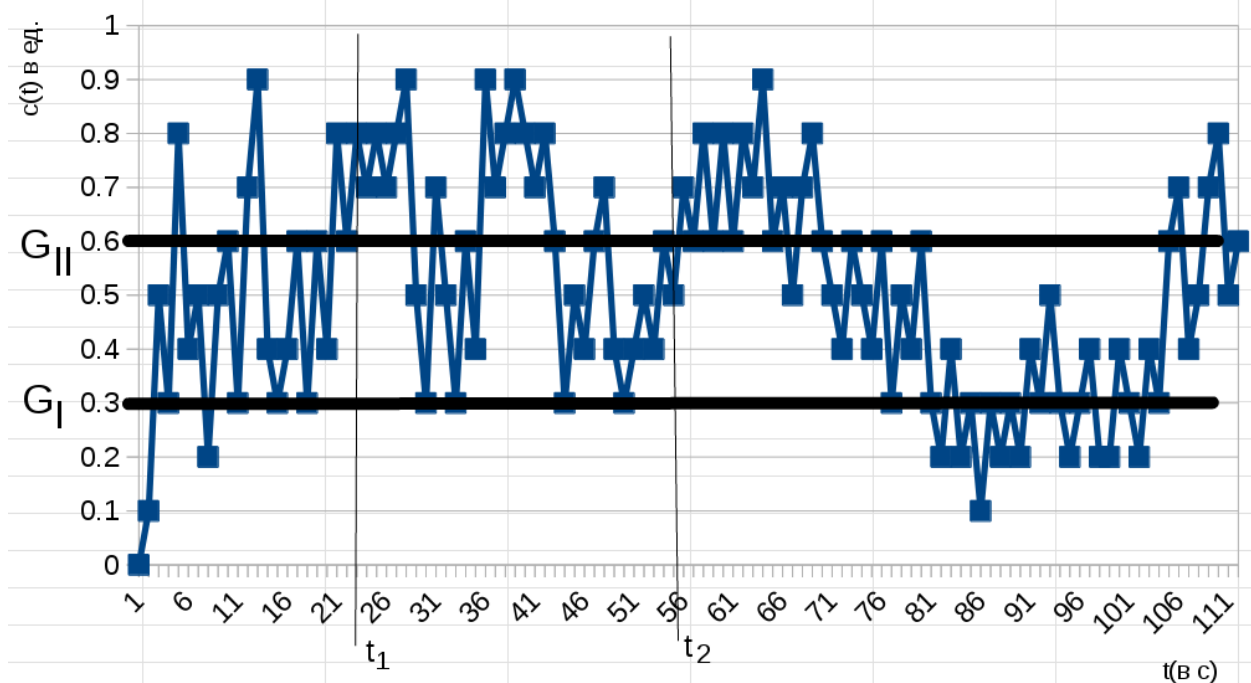


Рис. 1. Комплексные оценки производительности программно-технического комплекса за период времени $t_2 - t_1$

При исследовании производительности ПТК существует возможность получать оценку плотности временного процесса cp_t (2) и скорости его изменения cp_v (3) за определенный промежуток времени $t_2 - t_1$ (рис. 1):

$$cp_t = \int_{t_1}^{t_2} c_t(t) dt; \quad (2)$$

$$cp_v = \int_{t_1}^{t_2} c_v(t) dt; \quad (3)$$

Производительность ПТК условно делят на фазы [2] и выделяют границы G_I , G_{II} имеющие значения констант. К примеру, $G_I = 0.3$, $G_{II} = 0.6$ (рис. 1).

Производительность ПТК можно разделить на потенциальную и кинетическую составляющие. Потенциальная составляющая представляет собой совокупную оценку ресурсов ПТК (процессора, оперативной памяти, жесткого диска, сетевых интерфейсов и т.д.), находящихся в состоянии отсутствия рабочей внешней или внутренней нагрузки:

$$P_C = p(r_1, r_1', r_1'', r_2, r_2', r_2'' \dots, r_n, r_n', r_n'', t); \quad (4)$$

Под внешней нагрузкой понимают интерактивное выполнение пользовательских заданий или приложений, внутренней — системные задачи или пользовательские задание выполняемые в заданное время (к примеру, с помощью системных утилит at или cron).

Потенциальная составляющая описывается моделью производительности REQS:

$$\text{ППТК} = \langle R, E, Q, S \rangle, \quad (5)$$

где R (Resours) - ресурсы; E (Events, tasks) - события (задачи); Q (Queries) - запросы; S (Structure) - структура.

Кинетическая составляющая производительности ПТК представляет собой совокупную оценку потребления ресурсов ПТК во время совершения рабочей внешней или внутренней нагрузки за определенное время t :

$$K_N = k(r_1, r_1', r_1'', r_2, r_2', r_2'' \dots, r_n, r_n', r_n'', t); \quad (6)$$

Данная работа была посвящена изучению кинетической составляющей (6) модели производительности REQS (5) для ресурсов второго уровня (процессора, оперативной памяти, жесткого диска, сетевых интерфейсов). В качестве ПТК было выбрано устройство BeagleBone Black [3], операционная система Debian 7.

Математическое моделирование выполнялось на основе клеточных автоматов (КА) которые представляют собой это множество одинаковых простых вычислителей [4].

КА в исследуемых моделях находятся в виде пар (u, x) , называемыми клетками. Состояние клетки u принадлежит алфавиту A , т.е. $u \in A$. Имя клетки $x \in X$ задавалось вектором $x = (i, j, k)$ из конечного множества координат d -мерного дискретного пространства X .

В пространстве X определялись подмножества, называемые шаблонами:

$$T(x) = \{x, x+a_1, \dots, x+a_{n-1}\} \quad (7)$$

где a_j вектор смещения координат x , $n = |T(x)|$.

Клетки с именами из $T(x)$ образовывали локальную конфигурацию:

$$S(x) = \{(u_0, x), (u_1, x+a_1), \dots, (u_{n-1}, x+a_{n-1})\} \quad (8)$$

Множество клеток $\Omega = \{(u_i, x_i) | u_i \in A, x_i \in X, x_i = x_j\}$ образовывали клеточный массив, а перечень состояний клеток $\Omega_A = (u_1, u_2, \dots, u_{|X|})$ имели глобальное состояние КА.

Функционирование КА задавалось локальным оператором и режимом его применения к клеткам из Ω . Локальный оператор (9) являлся композицией более простых локальных операторов композицией подстановок $\theta(x)$ [4].

$$\Theta(x) = \Phi(\Theta_1(x), \dots, \Theta_n(x)) \quad (9)$$

Подстановки выражались через локальные конфигурации как выражение:

$$\theta(x) : S(x) \rightarrow S'(x) \quad (12)$$

где $|S(x)| \geq |S'(x)|$, т.е. $T'(x) \subseteq T(x)$ причем первые $m' = |T'(x)|$ клеток в локальной конфигурации составляли базу подстановки, а остальные $(m - m')$ клеток играли роль контекста.

Подстановка применялась к клетке $(u, x) \in \Omega$, если $S(x) \in \Omega$. В случае если область значений u включена в алфавит A , то клетка с переменным состоянием (u, x) считается принадлежащей Ω [6].

Применение подстановки $\theta(x)$ сводилось к замене состояний всех базовых клеток $(u_j, x + a_j) \in S(x)$ на значения:

$$u_j = f_j(u_1, \dots, u_n), \quad n = |S(x)|, \quad j = 0, \dots, |S(x)|, \quad (13)$$

где $f_j(u_1, \dots, u_n)$ – функция перехода.

В работе в качестве функций перехода использовались первые или вторые производные показателей функционирования ресурсов ПТК: процессора, оперативной памяти, жесткого диска и сетевых интерфейсов используя синхронный режим, который заключался в следующем [6]:

1) для всех $(u, x) \in \Omega(t)$ вычислялись новые состояния $u(x)$ путем применения к ним функции перехода (12);

2) во всех клетках $(u, x) \in \Omega(t)$ производилась замена состояний $u(x)$ на новые $u(x)$;

3) $\Omega(t) \rightarrow \Omega(t + 1)$.

Реализация клеточных автоматов для математического моделирования производительности ПТК происходила на основе разработанного программного средства на языке высокого уровня C в среде Qt.

Таким образом, в работе было разработано кроссплатформенное программное средство для математического моделирования производительности ПТК второго уровня модели REQS на основе клеточных автоматов.

Литература

1. Хошаба А.М. Математическая модель фаз производительности вычислительных систем. // Вестник Херсонского национального технического университета №3(50), 2014.-Херсон.-С.-523-527.

2. Хошаба А.М. Анализ математических моделей производительности вычислительных систем. // Дев'ята Міжнародна науково-практична конференція "Математичне та імітаційне моделювання систем. МОДС 2014": Тези допов.-Київ-Жуков, 2014.-С. 240-243.

3. <http://beagleboard.org>

4. Frish U., Hasslacher B., Pomeau Y. Lattice-gas Automata for Navier-Stokes equation //Physical Review Letter, 1986. Vol. 56. P. 1505-1508.

5. Domain Specific Language and Translator for Cellular Automata Models of Physico-Chemical Processes //Proceedings of PaCT-2011, Lecture Notes in Computer Science 6873, 2011. Berlin: Springer, P. 172–177.

6. Бандман О.Л. Методы композиции клеточных автоматов для моделирования пространственной динамики. Вестник Томского государственного университета. No 9(1). С.183–193.