



ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ВЫСОКОПРОИЗВОДИТЕЛЬНЫХ ВЫЧИСЛЕНИЙ И ТЕЛЕКОММУНИКАЦИИ

А.В. Баландин

МОДЕЛЬ ПАРАЛЛЕЛЬНЫХ И АСИНХРОННЫХ ТЕМПОРАЛЬНЫХ ВЫЧИСЛЕНИЙ С АВТОВАЛИДАЦИЕЙ

(Самарский государственный аэрокосмический университет имени академика
С.П. Королева (национальный исследовательский университет))

В данной работе предлагается модель параллельных и асинхронных вычислений над динамическими данными $d_1(t), d_2(t), d_3(t), \dots, d_n(t)$, осуществляемых в режиме реального времени абстрактной вычислительной системой с ограниченной производительностью. Значения данных обновляются в вычислительной системе в заданном темпе, и возможность их использования в вычислениях в текущий момент реального времени ограничено соответствующим интервалом времени на временной шкале. Зафиксированные текущие значения динамических данных будем называть *датированными значениями*, а соответствующий интервал времени – *интервалом репрезентативности* датированного значения. Величину (протяжённость) интервала репрезентативности будем называть *периодом репрезентативности* датированного значения. В течение периода репрезентативности текущее датированное значение не меняется и считается соответствующим текущему значению реального времени.

Формально датированное значение опишем кортежем $\langle z, \dot{t}, \tau \rangle$, где: z - абстрактное значение динамического данного; \dot{t} - показание времени в момент формирования значения z , являющееся началом интервала репрезентативности текущего датированного значения; τ - величина периода репрезентативности датированного значения; $[\dot{t}, \dot{t} + \tau]$ - интервал репрезентативности текущего датированного значения на временной шкале.

Темпоральным данным или коротко *датумом* будем называть динамическое данное $d(t)$, изменявшееся на отрезке времени $[0, t]$ и имеющее в текущий момент t следующее значение:

$$d(t) = \begin{cases} \langle \emptyset, 0, \varpi \rangle_0, t \in [0, \varpi]; \\ \langle z, \dot{t}, \tau \rangle_1, t \in [\dot{t}_1, \dot{t}_1 + \tau_1]; \\ \langle z, \dot{t}, \tau \rangle_2, t \in [\dot{t}_2, \dot{t}_2 + \tau_2]; \\ \dots \\ \langle z, \dot{t}, \tau \rangle_i, t \in [\dot{t}_i, \dot{t}_i + \tau_i]; \\ \langle z, \dot{t}, \tau \rangle_{i+1}, t \in [\dot{t}_{i+1}, \dot{t}_{i+1} + \tau_{i+1}]; \\ \dots \\ \langle z, \dot{t}, \tau \rangle_k, t \in [\dot{t}_k, \dot{t}_k + \tau_k]; \\ \langle \emptyset, \dot{t}_k + \tau_k, \omega \rangle, t > \dot{t}_k + \tau_k. \end{cases}$$



Датированное значение с индексом $k=0$ является начальным состоянием $d(t)$ и до момента t_1 датум $d(t)$ является пустым - $\langle \emptyset, 0, \omega \rangle_0$, символ \emptyset означает *пустое* значение, а символ ω - *неопределённое* значение периода репрезентативности. В момент t_1 датум $d(t)$ инициализируется первым датированным значением $\langle z, t, \tau \rangle_1$. Момент t_k - момент получения датумом $d(t)$ очередного крайнего датированного значения $\langle z, t, \tau \rangle_k$. Каждый раз в момент t - момент получения датумом $d(t)$ очередного крайнего значения, значение k увеличивается на 1. В текущий момент времени t датум $d(t)$ имеет значение:

$$d(t) = \begin{cases} \langle z, t, \tau \rangle_k, & t \in [t_k, t_k + \tau_k]; \\ \langle \emptyset, t_k + \tau_k, \omega \rangle, & t > t_k + \tau_k. \end{cases}$$

Упорядоченное во времени множество зафиксированных к текущему моменту времени t датированных значений, характеризующее изменение значения датума $d(t)$ на текущем отрезке времени $[0, t]$, будет представлять собой временной ряд датированных значений – *тренд* датума $d(t)$:

$$\bar{d}(t) = \{ \langle z, t, \tau \rangle_i \}_{i=0,1,2,\dots,k}, t \in [t_k, t_k + \tau_k].$$

Датированные значения датума $d(t) = \{ \langle z, t, \tau \rangle_i \}_{i=0,1,2,\dots,k}$ должны удовлетворять условию $t_i = t_{i-1} + \tau_{i-1}$, т.е. теоретически датум определён во всех точках временной оси. Однако на практике может оказываться так, что в какие-то моменты из-за возросшей вычислительной нагрузки вычислительная система не успевает своевременно вычислить и/или заменить значение датума с истёкшим периодом репрезентативности новым значением. В результате два последовательных датированных значения тренда датума $d(t)$ "не стыкуются", т.е. оказывается, что $t > t_k + \tau_k$, и с этого момента текущее значение $d(t)$ теоретически интерпретируется как пустое с неопределённым периодом репрезентативности - $\langle \emptyset, t_k + \tau_k, \omega \rangle$. В результате в тренде датума появляются "пустоты", которые могут приводить к сбою параллельно выполняемых асинхронных темпоральных вычислений, зависящих от этого датума. Вычисления восстанавливаются, когда текущее пустое значение датума $d(t)$ заменяется в некоторый момент времени $t > (t_k + \tau_k)$ новым датированным значением. Интервал времени $(t_k + \tau_k, t)$ будем называть *интервалом неопределённости* датума $d(t)$, а его продолжительность - $t - (t_k + \tau_k)$, - *периодом неопределённости* датума $d(t)$.

Теоретически текущее значение датума $d(t)$ на интервале неопределённости является пустым. Это означает, что текущее значение датума $d(t)$ не является валидным для выполнения связанных с ним текущих вычислений. Если параллельно и асинхронно выполняемые вычисления воспользуются в текущий момент времени t значением датума на интервале неопределённости, то теоретически вычисленное значение должно быть пустым - $\langle \emptyset, t, \tau \rangle$. Это означает, что вычислительная система в лучшем случае временно теряет способность осуществлять с заданным в реальном времени темпом некоторые параллельно



выполняемые вычисления с возможными в результате негативными последствиями. Поэтому с практической точки зрения для сдерживания негативных последствий можно допустить кратковременное использование в вычислениях устаревающего значения датума, но с учётом степени устаревания. Для этого введём понятие степени валидности темпорального данного $d(t)$ в текущий момент времени t , которую обозначим $v(t)$. Формально степень валидности датированного значения $\langle z, \dot{t}, \tau \rangle$ выразим в виде:

$$v(t) = \begin{cases} 1, & t \in [\dot{t}, \dot{t} + \tau]; \\ \frac{\tau}{t - \dot{t}}, & t > \dot{t} + \tau. \end{cases}$$

Значение степени валидности $v(t) \in [0, 1]$ эвристически характеризует степень доверия тому, что устаревающее значение датума $d(\dot{t})$ мало отличается от реального значения, соответствующего текущему моменту времени t . Из формулы следует, что пока текущее время находится в пределах интервала репрезентативности степень валидности текущего значения $d(t)$ равен 1 – значение соответствует текущему времени. При выходе текущего момента времени t за пределы интервала репрезентативности датума $d(t) = \langle z, \dot{t}, \tau \rangle$, т.е. $t > \dot{t} + \tau$, степень валидности текущего значения $d(t)$ становится меньше 1 и далее на интервале неопределённости стремиться к 0:

$$\frac{\tau}{t - \dot{t}} \xrightarrow{t \rightarrow \infty} 0.$$

При этом скорость стремления степени валидности к нулю в окрестности верхней границы интервала репрезентативности устаревшего значения зависит от величины его периода репрезентативности τ . Чем больше τ , тем меньше скорость убывания $v(t)$.

В соответствии со значением степени валидности $v(t)$ текущее значение $d(t)$ будем характеризовать как: *чёткое* (достоверное) – $v(t)=1$; *нечёткое* – $0 < v(t) < 1$; *пустое* (недостоверное) – $v(t)=0$.

Характеристика "*чёткое*" говорит о том, что текущее значение темпорального данного $d(t)$ является репрезентативным (находится на интервале репрезентативности). Для "*жёстких*" темпоральных вычислений текущие значения всех темпоральных данных должны быть чёткими.

Характеристика "*нечёткое*", $0 < v(t) < 1$, говорит о продлении действия ($t > \dot{t} + \tau$) и деградации во времени текущего значения датума $d(t)$. Чем ближе $v(t)$ к единице в момент времени t , тем "более пригодным" является это значение для дальнейшего использования в вычислениях. Значения нечётких датумов можно использовать только в "*мягких*" вычислениях, допускающих кратковременную деградацию результатов вычислений при временном возрастании интенсивности вычислений и нагрузки на вычислительную систему. Оценка степени валидности позволяет контролировать деградацию значений датумов во времени.

Характеристика "*пустое*" ($v(t)=0$) говорит о том, что текущее значение да-



тума $d(t)$ полностью утратило связь с текущим временем (окончательно деградировало), стало пустым и практически непригодным для использования в вычислениях в текущий момент времени t . Заметим, что такую же характеристику датум $d(t)$ имеет в начале вычислений - $0 \leq t < \dot{t}_1$, пока не станет чётким в результате получения первого датированного значения.

Положим теперь, что значения датумов $d_1(t), d_2(t), d_3(t), \dots, d_n(t)$ используются при вычислении текущего значения некоторого производного датума $D(t)$. Вычисление значения датума $D(t)$ формально обозначим оператором O_{dD} и определим его следующим образом:

$$O_{dD}: (d_1, d_2, \dots, d_n, t) \rightarrow D(t) = \langle z_D, \dot{t}_D, \tau_D \rangle.$$

где: $d_i = \langle z_{d_i}, \dot{t}_{d_i}, \tau_{d_i} \rangle, i = \overline{1, n}$; $z_D = F_D(z_{d_1}, z_{d_2}, \dots, z_{d_n})$ - процедура вычисления значения датума $D(t)$; $\dot{t}_D = t$ - зафиксированное значение текущего момента времени получения результата вычисления; $\tau_D = const$ - заданный для $D(t)$ период репрезентативности полученного датированного значения - *темп вычислений* $D(t)$.

Из определения оператора O_{dD} следует, что его результат является датированным значением датума $D(t)$, отмеченным текущим моментом времени - $\dot{t}_D = t$, с априори заданным периодом репрезентативности τ_D . Процедура вычисления и обновления датума $D(t)$ периодически инициируется каждый раз по истечении очередного периода репрезентативности τ_D текущего значения $D(t)$.

Очевидно, что степени валидности датумов $d_i(t)$, должны определять начальную степень валидности результата преобразования $D(t)$. Естественно полагать, что степень валидности результата преобразования не может превышать наименьшую из степеней валидности исходных датумов. Исходя из этих соображений, начальное значение степени валидности результата преобразования $D(t)$ формально выразим эвристической формулой вида:

$$v_D(\dot{t}_D) = \min \{ v_{d_1}(\dot{t}_D), v_{d_2}(\dot{t}_D), \dots, v_{d_n}(\dot{t}_D) \}.$$

Начальная валидность будет сохраняться на протяжении всего периода репрезентативности $D(t)$. Если текущее время t выходит из текущего интервала репрезентативности $D(t)$, то инициируется очередное вычисление оператора O_{dD} и обновление $D(t)$. Если очередное вычисление и обновление производного датума запаздывает из-за перегрузки вычислительной системы, то текущее значение $D(t)$ деградирует и его степень валидности должна уменьшаться с увеличением интервала неопределённости. С учётом этого общую эвристическую формулу вычисления степени валидности текущего значения $D(t)$ определим в виде:

$$v_D(t) = \begin{cases} v_D(\dot{t}_D) = \min \{ v_{d_1}(\dot{t}_D), v_{d_2}(\dot{t}_D), \dots, v_{d_n}(\dot{t}_D) \}, & t \in [\dot{t}_D, \dot{t}_D + \tau_D]; \\ v_D(\dot{t}_D) \cdot \frac{\tau_D}{t - \dot{t}_D}, & t > \dot{t}_D + \tau_D. \end{cases}$$

Заметим, что если при вычислении производного датума $D(t)$ среди датумов-аргументов оказываются датумы со степенью валидности меньше 1, то целесообразно кратковременно увеличить темп вычисления $D(t)$ до момента, пока



контролируемая степень валидности значения $D(t)$ не станет равной 1 (произойдет обновление "опоздавших" датумов-аргументов).

В заключении отметим, что предложенная модель темпоральных вычислений обеспечивает автоматический контроль степени валидности темпоральных данных (автовалидация), что является важным при выполнении вычислений в различных системах реального времени.

Н.И. Виноградов

АППАРАТНЫЙ КОМПЛЕКС GPS/GLONASS ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ОДНОСТОРОННЕЙ СЕТЕВОЙ ЗАДЕРЖКИ ПАКЕТОВ

(Самарский государственный аэрокосмический университет имени академика
С.П. Королёва (национальный исследовательский университет))

Маршрутизация в глобальной сети представляет собой сложный механизм. Качество процесса маршрутизации описывается такими параметрами как временная задержка пакетов, сетевой джиттер (вариация задержки), величина потерь пакетов и доступная пропускная способность канала[1]. Временная задержка и сетевой джиттер являются ключевыми параметрами для приложений, связанных с общением пользователей в сети – интернет-телефония, видеоконференции[2]. Однако существующие измерительные механизмы способны находить только двухстороннюю задержку (RTT), которая не позволяет однозначно определять OWD (onewaydelay), необходимую для правильной настройки приложений.

Для мониторинга OWD один из пяти региональных интернет-регистраторов RIPE NCC вплоть до 01 июля 2014 года предоставлял пользователям мирового интернет-сообщества доступ к сервису TestTrafficMeasurement (TTM)[3], позволявшему измерять ключевые характеристики соединения между отдельными узлами в сети Интернет, сохранять экспериментальные данные и статистически обрабатывать их. Аппаратно данный сервис реализовывался путем размещения у конечного пользователя сервера с платой приемника GPS и внешней антенны для устойчивого приема сигналов от спутников[4]. Точность измерения односторонней сетевой задержки при передаче между узлами обеспечивалась путем прикрепления к пакету точной временной метки. Для этого GPS-приемник после нахождения географического местоположения формирует на своем выходе PPS (pulse per second) прямоугольный сигнал с периодом 1 секунда и настраиваемой скважностью, фронт которого синхронизирован с временем GPS или UTC (Coordinated universal time) с точностью ± 40 нс[5]. Указанный сервис не получил широкого распространения, было запущено недостаточное количество узлов из-за их высокой стоимости и инсталляции и сопровождения. В результате проект был свернут.