УДК 681.323

Ю. С. ЗАМАЛЕЕВ

ПРИНЦИПЫ ОРГАНИЗАЦИИ АДАПТИВНОГО ПОВЕДЕНИЯ ЦИФРОВОГО ИНТЕГРАТОРА

При синтезе человеко-машинных систем, компонентами которых являются наряду с ЭВМ цифровые интегрирующие структуры (ЦИС), возникает задача увеличить гибкость «внутренней организации» основного элемента ЦИС — цифрового интегратора. Последний должен быть адаптивным, т. е. в зависимости от принятой стратегии эксперимента изменять свою «внутреннюю организацию», настраиваясь на выполнение вычислений с заранее заданными точностью и временем.

Оценить эффективность использования разнообразных средств вычислительной техники можно при наличии отправных критериев качества вычислительных средств, называемых критериями эффективности. При этом необходима компактная группа показателей, наилучшим образом оценивающая качества рассматриваемых вычислительных средств.

В соответствии с теорией информации [1] как основные показатели качества функционирования вычислительных средств следует использовать те, которые характеризуют величину ошибок, возникающих при переработке информации.

К ним относятся показатели времени (быстродействие) и точности выполнения вычислительной работы. Эти показатели, согласно анализу, удовлетворяют всем требованиям, предъявляемым к частным показателям качества системы [1]. Важно и то, что число их невелико и оба они являются аргументами функции эффективности вычислительной системы.

За обобщенный показатель эффективности вычислительной системы иногда принимают стоимость, являющуюся функцией практически всех технических параметров вычислительной системы. Однако стоимость вычислительной системы, как правило, не оптимизируется, а играет роль ограничивающего фактора [1].

Быстродействие τ и точность δ вычислительного процесса имеют системный характер и выступают в роли обобщенных критериев эффективности цифровых вычислительных машин (ЦВМ), аналоговых вычислительных машин (АВМ) и гибридных вычислительных средств.

Определив эффективность вычислительной системы как функцию $E=E(\tau, \sigma)$, аргументами которой являются время выполнения вычислений и погрешность σ результата с учетом ограничивающего фактора — стоимости эксперимента, включающего стоимость вычислительной системы (ВС) и системы математического обеспечения ($C_э=C_{ВС}+C_{СМО}$), рассмотрим задачу, связанную с повышением меры эффективности использования вычислительных средств при решении инженерных задач.

Прямое обращение к функции эффективности указывает на необходимость изменения ее аргументов τ и σ с целью изменить величину самой функции. Очевидно, что уменьшение времени решения задачи и увеличение точности результата должно повысить эффективность использования ВС. Однако при этом надо удовлетворить ограничивающему фактору — стоимости эксперимента. Сделать это порой довольно трудно. Поскольку уменьшение времени решения задачи на ВС связано с повышением ее производительности, а в соответствии с законом Гроша [2] ...«приращение производительности требует квадратичного увеличения стоимости». Аналогичная картина складывается и при повышении точности результата, так как оно сопряжено с повышением времени, затрачиваемого на анализ и подготовку задачи к решению, что незамедлительно сказывается на стоимости эксперимента.

В этой связи вводится в рассмотрение такая организация вычислительного процесса, при которой регулируются точность и время решения задачи, чтобы удовлетворить заданной стратегии эксперимента и не выйти за пределы стоимости эксперимента, указываемые обобщенным критериям эффективности.

Время и погрешность вычислений являются взаимозависимыми факторами. Так, чтобы увеличить точность вычислений ЦВМ, необходимо выбирать алгоритм, который реализуется большим числом команд, что увеличивает затраты времени. Менее точный алгоритм реализуется меньшим числом команд. Следовательно, уже на цифровом уровне можно регулировать время и погрешности вычислений, выбрав тот или иной алгоритм, а вместе с этим влиять и на стоимость эксперимента.

Пределы регулирования точностных и временных характеристик процесса вычислений значительно расширяются при работе в рамках однородных и неоднородных вычислительных систем или при помощи аналого-цифровых вычислительных средств.

Вычислительные машины с программируемой структурой, к которым кроме АВМ относятся цифровые интегрирующие машины (ЦИМ), цифровые дифференциальные анализаторы (ЦДА) и разрядные неалгоритмические машины (РНМ), могут целенаправленно изменять время и погрешности вычислений. В РНМ [3, 4] для повышения точности вычислений увеличивают количество операционных элементов, необходимых для представления информации, и, следовательно, уменьшают количество одновременно решаемых задач на РНМ, что ведет к росту времени решения таких задач.

В ЦДА и ЦИМ, например, время и погрешность вычислений зависят от принятых формул численного интегрирования, положенных в основу алгоритма функционирования цифровых вычислительных блоков — цифровых интеграторов (ЦИ). Син зировать алгоритм функционирования ЦИ можно при помо формул интегрирования (Эйлера, Симпсона и других), реали при этом процесс интегрирования по Стилтьесу.

Основные стратегии проведения эксперимента, в рам которых необходимо регулировать погрешность и время реше с целью удовлетворения ограничивающему критерию — ст мости эксперимента, следующие [5]:

Каждая i-я задача должна быть решена в заданное вр $\tau_{i з}$ и с заданной погрешностью $\sigma_{i з}$: $\tau_i \leqslant \tau_{i з}$; $\sigma_i \leqslant \sigma_{i з}$; $i = \overline{1, n}$, n — общее число задач, подлежащих решению.

Погрешность решения каждой задачи должна быть минима ной при заданном времени решения: $\min \sigma_i$ при $\tau_i \leqslant \tau_{i з}$.

Время решения каждой задачи должно быть минимальн а погрешность решения не больше заданной: $\min \tau_i$ при $\sigma_i \leqslant$

Требуется провести решение задачи, удержав время и погр ность решения в заданных пределах: $\tau_i = \tau_{i з} \pm \Delta\tau$, $\sigma_i = \sigma_{i з} \pm$

Для эффективного решения достаточно широкого кла задач настоятельно требуется применение вычислительн структур и систем, основными решающими элементами котор являются цифровые интеграторы.

К таким задачам относятся в первую очередь задачи т ного моделирования быстропротекающих процессов и слож динамических объектов и управления ими.

При этом высокое быстродействие и необходимая точн вычислений достигаются за счет использования точных мето интегрирования, многоразрядных приращений и параллельно структуры. Эти принципы положены в основу синтеза ЦИ.

Важным свойством, например, структур из ЦИ являе возможность автоматического поиска решений задачи, удов воряющих заданным условиям по τ и σ в соответствии со ст тегиями решения.

Анализируя основные алгоритмы функционирования [6], можно сделать следующие выводы: известные оптимальн алгоритмы функционирования ЦИ основаны на примене только одной из формул численного интегрирования; основ ми показателями качества вычислительного процесса являю τ и σ, между которыми существует линейная зависимос значения τ и σ определяются, главным образом, типом испо зуемой формулы численного интегрирования.

Таким образом, удовлетворение стратегиям решения в щем случае затруднительно в рамках использования од только формулы численного интегрирования. В этой связи никает задача синтеза ЦИ с регулированием основных па метров вычислительного процесса τ и σ в рамках задан стратегии решения.

Наделив ЦИ способностью целенаправленного перехода интегрировании от одной формулы к другой, можно созд условия для дискретного регулирования времени и погрешности внутри ЦИ.

Процесс интегрирования ЦИ можно изобразить в виде лучей, выходящих из начала координат в координатной системе τ и σ (рис. 1). Угол наклона лучей определяется порядком точности n формулы численного интегрирования.

Пусть требуется произвести поиск решения задачи в соответствии со стратегией 1. При этом точка M ($\sigma_{задан}$, $\tau_{задан}$) не находится на одном из лучей, т. е. решение задачи не будет удовлетворять поставленному условию (стратегии 1).

В настоящей работе предлагается принцип регулирования τ и σ ЦИ, осуществляющего интегрирование по Стилтьесу по обобщенной формуле численного интегрирования.

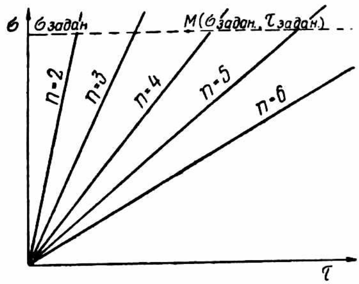
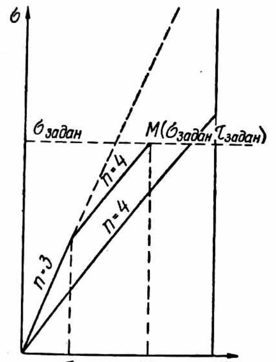


Рис. 1. Процесс вычисления по формулам численного интегрирования различного порядка точности.

Компонентами обобщенной формулы являются известные формулы численного интегрирования (формулы прямоугольников, трапеций и т. д.) [7]. Обобщенная формула численного



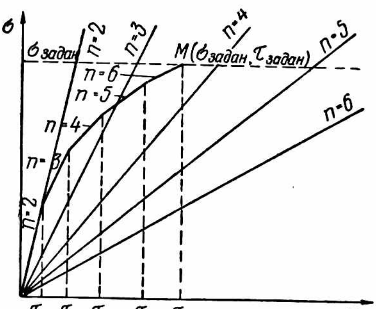


Рис. 2. Процесс вычисления по обобщенной формуле численного интегрирования, состоящей из двух компонентов.

Рис. 3. Процесс вычисления по обобщенной формуле численного интегрирования, состоящей из нескольких (пяти) компонент.

интегрирования может состоять, например, из двух, трех и более компонент.

Рассмотрим процесс вычисления по обобщенной формуле, компонентами которой являются, например, интерполяционные

или экстраполяционные формулы численного интегрирования п
Стилтьесу на основе первых разностей с порядком точност
$n=3$ и $n=4$. Процесс вычисления представлен на рис. 2.

Пусть процесс интегрирования начался по формуле с поря
ком точности $n=3$ и за некоторое время проделано f шаго
интегрирования. После этого в момент времени τ_1, определяю
щий переключение ЦИ с одной формулы численного интегрирова
ния на другую, переходим к вычислению по формуле с поря
ком точности $n=4$. При счете по последней формуле, пройд
некоторое конечное число шагов, можно легко попасть
заданную точку M ($\sigma_{задан}$, $\tau_{задан}$), где решение задачи удо
летворяет поставленному условию. Аналогично можно инте
рировать и по обобщенной формуле, состоящей из трех и боле
компонент (рис. 3). При этом существенно повышается гибкост
изменения точности в зависимости от времени вычислений.

Применение совокупности таких регулируемых ЦИ, замкн
тых в рамках решаемой задачи, позволит осуществить необх
димое изменение точности и времени решения задачи в цело
в зависимости от принятой стратегии. Гибкость вычислений
вычислительные возможности структуры или системы, постро
енной на базе таких интеграторов, значительно повысятся.

Список литературы: 1. *Голубев-Новожилов Ю. С.* Многомашинные комплексы вычислительных средств. М., «Сов. радио», 1967. 424 с. 2. *Поспелов Д. А.* Введение в теорию вычислительных систем. М., «Сов. радио», М., 1972. 280 с. 3. *Пухов Г. Е., Васильев В. В.* О перспективных направлениях развития быстродействующих вычислительных средств.— В кн.: Математическое моделирование и теория электрических цепей. Вып. 10. К., 1973, с. 3—9. 4. Неоднородные вычислительные системы, К., «Наукова думка», 1975, 184 с. 5. *Красногорова В. С., Мурашко А. Г., Сенченко Н. И.* Структура и алгоритм настройки специализированной гибридной вычислительной среды. Материалы IV Всесоюз. конф. по проблеме «Однородные вычислительные системы и среды». К., 1975, с. 120—122. 6. *Каляев А. В.* Введение в теорию цифровых интеграторов. К., «Наукова думка», 1964. 291 с. 7. *Каляев А. В.* Теория цифровых интегрирующих машин и структур. «Сов. радио», М., 1970. 471 с.