

А.Г. Басыров, В.В. Кузнецов, М.Н. Лупашко

МЕТОДИКА ВЫБОРА СТРУКТУРЫ СПЕЦИАЛИЗИРОВАННОЙ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЫ АВТОНОМНЫХ ПОДВИЖНЫХ ОБЪЕКТОВ, РЕАЛИЗУЮЩИХ ПРЕДВАРИТЕЛЬНУЮ ОБРАБОТКУ ИНФОРМАЦИИ

Представлен подход к выбору структуры специализированной вычислительной системы, предназначенной для предварительной бортовой обработки целевой информации в автономных подвижных объектах. Предложен алгоритм расчета требуемого количества вычислительных модулей с учетом минимизации энерговременных затрат.

Ключевые слова: бортовая обработка информации, специализированные вычислители, энергетические и временные затраты.

A.G. Basyrov, V.V. Kuznetsov, M.N. Lupashko

METHOD OF CHOOSING THE STRUCTURE OF A SPECIALIZED COMPUTER SYSTEM OF AUTONOMOUS MOBILE OBJECTS THAT IMPLEMENT THE PRELIMINARY PROCESSING OF INFORMATION

An approach to choosing the structure of a specialized computing system designed for preliminary onboard processing of target information in autonomous mobile objects is presented. An algorithm for calculating the required number of computing modules is proposed, taking into account the minimization of energy and time costs.

Keywords: on-board information processing, specialized calculators, energy and time costs.

Введение

Функционирование различных автономных подвижных объектов, осуществлявших сбор, предварительную обработку и выдачу информации, реализуется в условиях реального времени при ограниченном энергоресурсе бортовых источников питания. При этом из всего объема собранной и переданной информации часть данных может оказаться не используемой для дальнейшего применения в силу, например, ненадлежащего качества.

Для уменьшения трафика передачи целевой информации она может подвергаться предварительной обработке с целью исключения непригодных для дальнейшего использования данных, то есть экономии энерговременных ресурсов.

Если обрабатывать все данные внутри автономного объекта, то это приведет к энергетическим и временным затратам вычислительной системы. Если же совсем отказаться от предварительной обработки всей собранной информации на борту автономного объекта, то это может привести к возможным потерям, связанным с передачей потребителю непригодных данных, а также к непродуктивным энергетическим и временным затратам на функционирование средств передачи информации.

В [1] представлен подход к выбору стратегии, заключающийся либо в принятии решения о применении предварительной обработки собранной информации, либо в отказе от

Басыров Александр Геннадьевич

доктор технических наук, профессор, начальник кафедры информационно-вычислительных систем и сетей. Военно-космическая академия имени А.Ф. Можайского, Санкт-Петербург. Сфера научных интересов: информационные вычислительные системы, высокопроизводительная обработка информации. Автор более 140 опубликованных научных работ.

Электронный адрес: alexanderbas@mail.ru

Кузнецов Вадим Викторович

кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры информационно-вычислительных систем и сетей. Военно-космическая академия имени А.Ф. Можайского, Санкт-Петербург. Сфера научных интересов: компьютерные технологии, надежность программного обеспечения. Автор более 30 опубликованных научных работ.

Электронный адрес: vadimkuznetsov@mail.ru

Лупашко Максим Николаевич

начальник Военного представительства Министерства обороны Российской Федерации, Санкт-Петербург. Сфера научных интересов: информационные вычислительные системы. Автор более 10 опубликованных научных работ.

Электронный адрес: vka_24kaf_1@mil.ru

этой обработки. Решение по выбору стратегии базируется на оценке соотношения возможных энергетических, временных и результативных потерь при использовании одной из двух стратегий.

В [3] предложен подход к предварительной обработке части целевой информации, позволяющий рационально использовать затрачиваемые на нее временные и энергетические ресурсы. В качестве индикатора окончания предварительной обработки выбрана вероятность пригодности целевой информации к ее дальнейшей обработке на основании байесовского подхода к оценке вероятности.

Таким образом, в случае принятия решения об использовании предварительной обработки информации на борту автономного подвижного объекта актуальной становится задача рационального выбора структуры вычислительной системы, включающей специализированные блоки-вычислители (обработчики), которые должны осуществлять предварительную обработку данных и принятие решения об их качестве (то есть о целесообразности передачи этих данных потребителю).

Обоснование выбора структуры вычислительной системы, осуществляющей предварительную обработку информации

Введем обозначения:

t – время обработки одного массива данных;

N – общее количество массивов данных;

k – количество массивов годных данных;

m – количество вычислителей, осуществляющих предварительную обработку;

ρ_c – потребляемая мощность БВС;

ρ_s – потребляемая мощность передатчика;
 g – пропускная способность передатчика;
 v – размер передаваемого массива данных.

Чтобы оценить временные и энергетические затраты, возникающие при применении предварительной обработки данных m вычислителями, необходимо задать функцию потерь, показывающую разницу между получаемыми затратами, с применением предварительной обработки и без нее (в случае передачи всей необработанной информации, включая негодную).

Если обрабатываемый массив данных является пригодным, что заранее неизвестно, то время t и энергия $\rho_c t$ бортовых источников питания на его предварительную обработку окажутся потраченными напрасно.

Если же этот массив данных является непригодным, то он не будет передан потребителю, тем самым будет сэкономлено $\frac{v}{g}t$ единиц времени и $\rho_s \frac{v}{g} - \rho_c t$ единиц энергии.

Пусть из N массивов данных k являются пригодными. Тогда разность Δt^k между временными затратами без предварительной обработки ($T_{6/обр}$) и с обработкой ($T_{обр}$) составит

$$\Delta t^k = T_{6/обр} - T_{обр} = \frac{v}{g}N - \left(t \frac{N}{m} + k \frac{v}{g} \right) = \frac{v}{g} \frac{(N-k)}{N} N - t \frac{N}{m}.$$

Если ввести обозначение $\gamma = \frac{(N-k)}{N}$ доли непригодных массивов данных из всего их множества, то получим

$$\Delta t^k = \frac{v}{g} \gamma N - t \frac{N}{m}. \quad (1)$$

Оценка величины γ может быть получена методом экспертных оценок на основе анализа полученной ранее информации о соотношении объема пригодных и непригодных данных.

Аналогично можно определить разность Δe^k между энергетическими затратами:

$$\Delta e^k = N \frac{v}{g} \rho_s - \left(\rho_c \frac{N}{m} t + k \frac{v}{g} \rho_s \right),$$

или

$$\Delta e^k = \rho_s \left(\frac{v}{g} \gamma N - \frac{\rho_c}{\rho_s} \frac{N}{m} t \right). \quad (2)$$

Неотрицательность значений полученных выражений свидетельствует о том, что применение предварительной обработки информации не приведет к дополнительным временным и энергетическим потерям по сравнению с передачей потребителю всех необработанных массивов данных, включая непригодные.

Если задать допустимую долю γ непригодной информации, можно рассчитать приемлемое количество вычислителей m для предварительной обработки информации на борту, определив таким образом требования к структуре разрабатываемой системы. Также могут быть определены параметры мощности вычислителей.

Выражение $\frac{N}{m}t$ определяет время параллельной обработки N блоков данных m вычислителями. В общем случае N не кратно m , и необходимо выделить целую часть дроби с уче-

Методика выбора структуры специализированной вычислительной системы автономных ...

том еще одного цикла обработки на оставшиеся блоки: $\left\lceil \frac{N}{m} \right\rceil + 1$. Для упрощения будем считать, что, зная величину N , значение количества вычислителей можно выбрать из условия

$$\frac{N}{m} = p, p \in Z.$$

Можно представить следующие условия выбора количества вычислителей m :

– по времени из (1)

$$m_t \geq \frac{tg}{v\gamma};$$

– по энергетике из (2)

$$m_e \geq \frac{tg}{v\gamma} \frac{\rho_c}{\rho_s}.$$

Совместное выполнение этих двух условий совпадет с первым при $\frac{\rho_c}{\rho_s} < 1$ или со вторым при $\frac{\rho_c}{\rho_s} > 1$.

Таким образом, рассчитав значение m и учитывая все вышеперечисленные ограничения, возможно определить минимальное целое значение числа вычислителей предварительной обработки информации, позволяющее не допустить необоснованных временных и энергетических потерь.

Рассматривая выражения (1) и (2) как функции нескольких переменных (например, $\Delta t^k(m, \gamma)$ и $\Delta e^k(m, \gamma)$), можно построить семейство зависимостей $\Delta t^k(m)$ или $\Delta e^k(m)$ для нескольких возможных значений γ и выбрать наиболее подходящий вариант построения вычислительной системы (см. Рисунок 1).

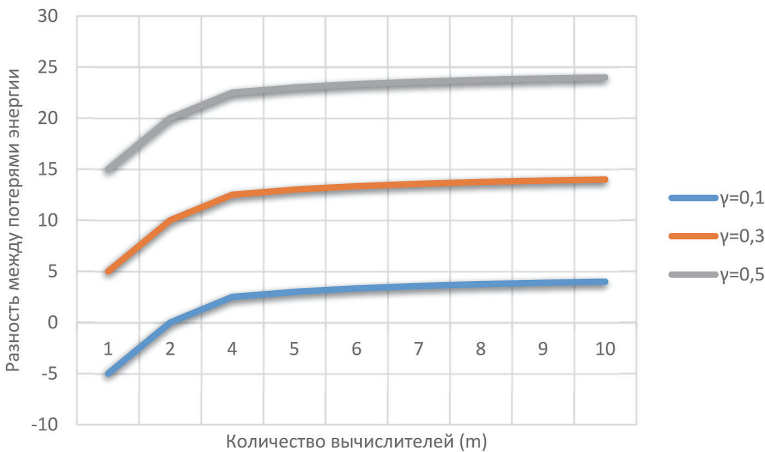


Рисунок 1. Зависимость разности между энергетическими затратами от количества вычислителей

Очевидно, что при увеличении доли непригодных блоков данных разность между энергетическими потерями возрастает (уменьшаются энергозатраты на передачу негодных блоков данных). При большом числе пригодных блоков затраты энергии и времени

на излишнюю проверку велики, так как проверяется вся пригодная информация. Рассматриваемые зависимости (1) и (2) при определенных исходных данных могут и не выйти из отрицательной зоны, то есть затраты на предварительную обработку существенно превысят затраты на передачу, и ресурсы будут потрачены зря. В связи с этим при принятии решения о выборе числа специализированных вычислителей аналогично подходу, изложенному в [1], следует определить значимость $\beta \in [0,1]$ временных потерь над энергетическими.

При $\beta = 0$ полагаем временные потери абсолютно незначимыми по сравнению с энергетическими, а при $\beta = 1$ – наоборот. Величина значимости β временных потерь над энергетическими определяется на основе экспертного мнения с учетом конкретных условий функционирования автономного объекта.

*Алгоритм выбора структуры (количества специализированных обработчиков)
вычислительной системы с предварительной обработкой информации*

Алгоритм формализует описанную выше последовательность выбора количества m специализированных блоков вычислительной системы в автономных подвижных объектах.

Алгоритм

Шаг 1. Начало.

Шаг 2. Ввод исходных данных:

T – время обработки одного массива данных;

N – количество массивов данных;

ρ_c – потребляемая мощность БВС;

ρ_s – потребляемая мощность передатчика;

g – пропускная способность передатчика;

v – размер передаваемого массива данных;

β – значимость временных потерь над энергетическими.

γ – предполагаемая доля непригодных массивов данных.

Шаг 3. $m_t = \frac{tg}{v\gamma}$.

Шаг 4. $m_e = \frac{tg \rho_c}{v\gamma \rho_s}$.

Шаг 5. Если $\frac{\rho_c}{\rho_s} > 1$, то переход на шаг 8.

Шаг 6. Если $m_t v < m_e$, то $m = m_t$, иначе $m = m_e$.

Шаг 7. Переход на шаг 9.

Шаг 8. Если $m_e v < m_t$, то $m = m_e$, иначе $m = m_t$.

Шаг 9. Выдача результата (m).

Шаг 10. Конец.

Приведенный алгоритм имеет линейную сложность. Его достоинством является простота реализации.

Заключение

Предлагаемая методика выбора структуры вычислительной системы (количества специализированных вычислителей) автономного подвижного объекта позволяет использовать преимущество предварительной обработки целевой информации на борту объекта в

Методика выбора структуры специализированной вычислительной системы автономных ...

условиях неопределенности данных о пригодности собранной информации для ее целевого использования.

Представленный простой алгоритм формирует количественную оценку числа дополнительных устройств предварительной обработки всех собранных и передаваемых данных на основе сравнения временных и энергетических потерь со структурой, не имеющей такой возможности.

Предлагаемый подход может быть применен в различных прикладных областях (например, при разработке малых космических аппаратов [2]) для обоснования структуры разрабатываемой вычислительной системы принятия решений, основанных на компромиссе между затратами предоставления некачественной информации и возможными потерями ресурсов на анализ информации.

Литература

1. Басыров А.Г., Степанов И.В., Лупашко М.Н. Стратегия организации информационных процессов в автономных подвижных объектах на основе минимизации энерговременных затрат // Интеллектуальные технологии на транспорте. 2021. № 2. С. 45–48.
2. Басыров А.Г., Лупашко М.Н., Степанов И.В. Методика выбора стратегии организации предварительной обработки информации в бортовых вычислительных системах малых космических аппаратов // Состояние и перспективы развития современной науки по направлению «Малые космические аппараты»: I Всероссийская научно-техническая конференция. Анапа: ЭРА, 2021.
3. Лупашко М.Н., Степанов И.В., Тимофеев В.В. Модель энергосберегающих информационных процессов в космическом аппарате с использованием байесовского подхода // Труды ВКА имени А.Ф. Можайского. 2021. № 677. С. 20–25.

References

1. Basyrov A.G., Stepanov I.V., Lupashko M.N. (2021) *Strategiya organizatsii informatsionnykh protsessov v avtonomnykh podvizhnykh ob'ektakh na osnove minimizatsii energovremennykh zatrat* [Strategy for organizing information processes in autonomous mobile objects based on minimizing energy and time costs]. *Intellektual'nye tekhnologii na transporte*, no. 2, pp. 45–48 (in Russian).
2. Basyrov A.G., Lupashko M.N., Stepanov I.V. (2021) *Metodika vybora strategii organizatsii predvaritel'noi obrabotki informatsii v bortovykh vychislitel'nykh sistemakh malykh kosmicheskikh apparatov* [Methodology for choosing a strategy for organizing preliminary information processing in on-board computing systems of small spacecraft]. *Sostoyanie i perspektivy razvitiya sovremennoi nauki po napravleniyu «Malye kosmicheskie apparaty»: I Vserossiiskaya nauchno-tekhnicheskaya konferentsiya* [State and prospects for the development of modern science in the direction of “Small spacecraft”: I All-Russian Scientific and Technical Conference]. Анапа: ERA Publishing (in Russian).
3. Lupashko M.N., Stepanov I.V., Timofeev V.V. (2021) *Model' energosberegayushchikh informatsionnykh protsessov v kosmicheskom apparate s ispol'zovaniem baiesovskogo podkhoda* [A model of energy-saving information processes in a spacecraft using the Bayesian approach]. *Trudy VKA imeni A.F. Mozhaiskogo*, no. 677, pp. 20–25 (in Russian).