

## ОПТИМИЗАЦИЯ КОМПЛЕКСНОГО АЛГОРИТМА ЦИФРОВОЙ ОБРАБОТКИ РАДИОЛОКАЦИОННОЙ ИНФОРМАЦИИ

к.т.н. О.И. Богатов, к.т.н. Г.И. Стопченко, В.В. Богатова  
(представил д.т.н., проф. Г.А. Поляков)

*В статье рассмотрены предложения по параллельной реализации комплексного алгоритма цифровой обработки радиолокационной информации.*

**Введение.** Состав комплексного алгоритма (КА) цифровой обработки радиолокационной информации (РЛИ) определяется следующими двумя основными группами факторов:

- назначением системы и составом основных задач, подлежащих решению в процессе эксплуатации системы на основе обработки РЛИ: обнаружение объектов, изменение параметров движения объектов, управление наведением изделия в различных режимах функционирования системы;
- необходимостью обеспечения дальнейшего повышения тактико-технических характеристик базовой системы: расширения возможностей по обнаружению и сопровождению современных воздушных целей в условиях интенсивных помех и отражений от подстилающей поверхности, повышения точностных характеристик измерения параметров движения целей, повышения точности наведения и вероятности поражения целей.

Одним из наиболее критичных требований к программной реализации рассматриваемого КА является *оперативность* обработки полученной информации [1]. Для выполнения данного требования предлагается большое количество различных методов [2 – 4], среди которых наиболее перспективными являются методы параллельной реализации КА [5].

**Целью данной статьи** является обоснование подхода к повышению оперативности обработки РЛИ за счет внедрения метода параллельной реализации КА.

**Результаты исследований.** Учет вышеперечисленных факторов приводит к необходимости цифрового решения следующих частных задач: обнаружения целей в режиме целеуказания (А1); обнаружения цели в режиме автосопровождения (А2); измерения дальности по цели (А3); измерения угловых координат (А4); распознавания протяженных целей (А5); фильтрации дальности (А6); фильтрации угловой координаты (А7); наведения по

методу трех точек (А8); наведения по методу половинного спрямления (А9); наведения по методу пропорционального сближения (А10). Совокупность соответствующих частных алгоритмов с их информационно-управляющими связями, обеспечивающими необходимый для функционирования системы с изделием порядок реализации частных алгоритмов во времени, образует КА цифровой обработки радиолокационной информации (ЦО РЛИ) (рис. 1).

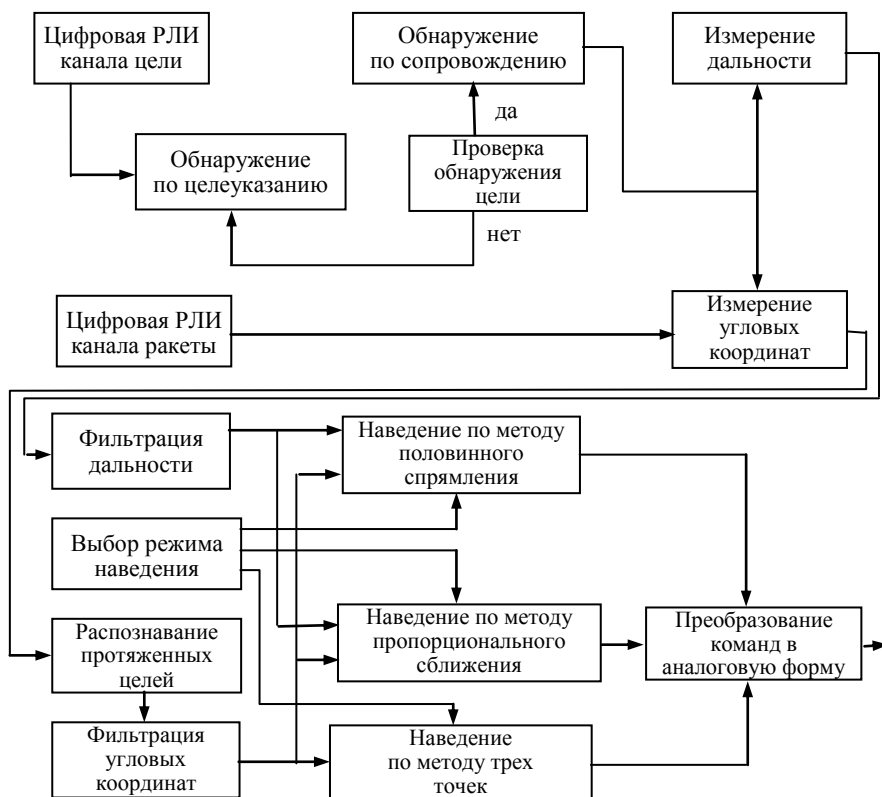


Рис. 1. Схема цифровой обработки РЛИ

В зависимости от значений системных требований к временным характеристикам выполнения КА, с одной стороны, и характера структуры цифровых вычислительных средств (ЦВС) системы (последовательная структура, параллельная структура), с другой стороны, возможны два варианта реализации КА во времени: а) последовательная реализация КА на основе варианта ЦВС с последовательным выполнением во времени частных алгоритмов, входящих в состав КА; б) параллельная реализация КА на основе варианта ЦВС с параллельным (одновременным) выполнением

информационно-независимых частных алгоритмов из состава КА системы.

Для обеспечения работы системы с изделием в реальном масштабе времени к выполнению всего комплексного алгоритма и каждого частного алгоритма должны быть предъявлены временные требования, определяемые соответствующей системой ограничений.

Исходными данными при обосновании этих требований применительно к рассматриваемой системе с изделием являются: наличие различных режимов работы системы (обнаружение, сопровождение и т.п.); наличие отдельных каналов обнаружения цели и измерения дальности и сопровождения цели по дальности, обнаружения, измерения угловых координат и сопровождения целей и изделий по угловым координатам; заданные значения частот  $F_D$  и  $F_E$  сканирования диаграмм направленности антенн в этих отдельных каналах; заданные значения количественных характеристик диаграмм направленности антенн каждого из каналов:  $\Delta\Theta_E$  – сектор сканирования по угловой координате, ширина диаграммы направленности  $\Theta_E^A$  по угловой координате,  $\Delta\Theta_D$  – сектор сканирования антенны канала дальности,  $\Theta_D^A$  – ширина диаграммы направленности антенны канала дальности; длительность  $\tau_n$  зондирующего импульса и период посылки  $T_n$ ; величина  $\delta D$  разрешающей способности по дальности; величина  $\delta E$  разрешающей способности по угловым координатам; количество  $K_{ц}$  одновременно сопровождаемых целей и количество  $K_p$  одновременно сопровождаемых изделий; требуемое значение  $T_{КА}$  однократной реализации и (или) требуемое значение  $F_{КА}$  частоты реализации комплексного алгоритма системы с изделием; значение частоты  $F_{КУ}$  выдачи команд управления изделием.

С учетом перечисленных исходных данных представим систему ограничений на выполнение различных частных алгоритмов (ЧА) и комплексного алгоритма в целом.

### **1. Для режима обнаружения цели по целеуказанию**

$$T_{КА} = \Delta T(A1) \leq 1 / \left( F_D \cdot L_D^{обн} \cdot L_E^{обн} \cdot K_{ц} \right), \quad (1)$$

где  $T_{КА}$  – время однократной реализации КА;  $\Delta T(A1)$  – время однократного выполнения частного алгоритма A1 (обнаружение в режиме целеуказания);  $F_D$  – заданная частота сканирования диаграммы направленности антенны канала дальности;  $L_D^{обн} = 3\sigma_D^2 / (\delta D)$  – число интервалов разрешения по дальности в режиме обнаружения по целеуказанию;  $\sigma_D^2$  – среднеквадратическая ошибка целеуказания по дальности;  $\delta D$  – разрешающая способность по дальности;  $L_E^{обн} = \Delta\Theta_D / \Theta_D^A$  – число интервалов

разрешения по угловой координате антенны канала дальности.

При принятых в рассматриваемой системе с изделием значениях  $F_D$ ,  $K_{\text{ц}}=1$ ,  $\sigma_D^2$ ,  $\delta D$ ,  $\Delta\Theta_D$ ,  $\Theta_D^A$  получаем  $T_{\text{КА}} \leq 285 \cdot 10^6 \text{ с}$ .

**2. В режиме автоматического сопровождения целей и изделий с точки зрения значений времени однократного выполнения ЧА в составе комплексного алгоритма можно выделить три группы частных алгоритмов:**

первая группа Г1 включает ЧА А2, А3, А6:  $\Gamma 1 = \text{А2, А3, А6}$ ;

вторая группа Г2 включает ЧА А4, А5, А7:  $\Gamma 2 = \text{А4, А5, А7}$ ;

третья группа Г3 включает ЧА А8, А9, А10:  $\Gamma 3 = \text{А8, А9, А10}$ .

Система ограничений для ЧА первой группы имеет вид

$$\Delta T(\text{А2}) = \Delta T(\text{А3}) = \Delta T(\text{А6}) \leq 1 / \left( F_D \cdot L_D^{\text{cop}} \cdot (K_{\text{ц}} + K_p) \right), \quad (2)$$

где  $L_D^{\text{cop}}$  – число разрешаемых интервалов дальности, обрабатываемых в режиме сопровождения. Принимая  $L_D^{\text{cop}} = 2\delta D / \delta D$ , получаем при  $K_{\text{ц}}=1$ ,  $K_p=0$ :

$$\Delta T(\text{А2}) = \Delta T(\text{А3}) = \Delta T(\text{А6}) \leq 20 \cdot 10^{-3} \text{ с}. \quad (3)$$

Система ограничений для ЧА второй группы имеет вид

$$\Delta T(\text{А4}) = \Delta T(\text{А5}) = \Delta T(\text{А7}) \leq 1 / \left( F_E \cdot L_D^{\text{cop}} \cdot L_E^{\text{cop}} \cdot (K_{\text{ц}} + K_p) \right), \quad (4)$$

где  $L_E^{\text{cop}} = \Delta\Theta_E / \Theta_E^A$  – число интервалов разрешения по угловой координате в режиме сопровождения. Принимая  $K_{\text{ц}}=K_p=1$ ,  $L_E^{\text{cop}} = 15$ , получаем:

$$\Delta T(\text{А4}) = \Delta T(\text{А5}) = \Delta T(\text{А7}) \leq 1 \cdot 10^{-3} \text{ с}. \quad (5)$$

Система ограничений для ЧА третьей группы имеет вид

$$\Delta T(\text{А8}) = \Delta T(\text{А9}) = \Delta T(\text{А10}) \leq 1 / \left( F_E \cdot L_D^{\text{cop}} \cdot L_E^{\text{cop}} \cdot K_p \right). \quad (6)$$

Для случая  $K_p = 1$  соотношение (6) приводится к виду

$$\Delta T(\text{А8}) = \Delta T(\text{А9}) = \Delta T(\text{А10}) \leq 2 \cdot 10^{-3} \text{ с}. \quad (7)$$

Система ограничений (2 – 6) определяет необходимые, но не достаточные условия, выполнение которых обеспечивает реализацию КА системы в реальном масштабе времени. В режиме обнаружения целей по целеуказанию достаточное условие выполнения в реальном масштабе времени КА для случая последовательной реализации ( $NP=1$ ) имеет вид

$$\Delta T_{\text{КА}}^{\text{обн}}(NP = 1) = \Delta T(\text{А1}, NP = 1) \leq 1 / F_p, \quad (8)$$

а для случая параллельного выполнения КА ( $NP > 1$ ) имеет вид

$$\Delta T_{\text{КА}}^{\text{обн}}(NP > 1) = \Delta T(\text{А1}, NP > 1) \leq 1 / F_p. \quad (9)$$

В режиме сопровождения достаточное условие выполнения в РМВ КА для случая последовательной реализации ( $NP=1$ ) КА имеет вид

$$\Delta T_{КА}^{\text{cop}}(NP=1) = \sum_{j=2}^7 \Delta T(A_j, NP=1) + \sum_{\mu=8}^{10} \alpha_{\mu} \cdot \Delta T(A_j, NP=1) \leq \frac{1}{F_E}, \quad (10)$$

где  $\alpha_8 = 1, \alpha_9 = \alpha_{10} = 0$  при наведении по методу трех точек;  $\alpha_9 = 1, \alpha_8 = \alpha_{10} = 0$  при наведении по методу половинного спрямления;  $\alpha_{10} = 1, \alpha_8 = \alpha_9 = 0$  при наведении по методу пропорционального сближения.

Соответствующее условие для случая параллельной реализации ( $NP > 1$ ) имеет вид:

$$T_{КА}^{\text{cop}}(NP > 1) = \Delta T(A_2, NP > 1) + \max[(\Delta T(A_3, NP > 1) + (\Delta T(A_6, NP > 1)), \\ (\Delta T(A_4, NP > 1) + (\Delta T(A_5, NP > 1) + (\Delta T(A_7, NP > 1)))] + \sum_{\mu=8}^{10} \alpha_{\mu} \cdot \Delta T(A_j, NP > 1). \quad (11)$$

**Заключение.** Таким образом, применение параллельной реализации комплексного алгоритма цифровой обработки радиолокационной информации значительно сокращает время обработки и повышает оперативность получения итоговых данных, что приводит к улучшению тактико-технических характеристик соответствующих комплексов. Перспектива дальнейших исследований в данном направлении связана с решением задачи выбора соответствующей конфигурации программно-аппаратных средств поддержки параллельной реализации КА.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Поляков Г.А., Умрихин Ю.Д. Автоматизация проектирования сложных цифровых систем коммутации и управления. – М.: Радио и связь, 1988. – 304 с.
2. Липаев В.В. Качество программного обеспечения. – М.: Финансы и статистика, 1983. – 263 с.
3. Системное проектирование сложных программных средств для информационных систем. – М.: СИНТЕГ, 1999. – 224 с.
4. Цвиркун А.Д. Основы синтеза структуры сложных систем. – М.: Наука, 1982. – 200 с.
5. Корнеев В.В. Параллельные вычислительные системы. – М.: «Нолидж», 1999. – 320 с.

Поступила 14.04.2003

**БОГАТОВ Олег Игоревич**, канд. техн. наук, ст. научн. сотр., начальник НИО научного центра при ХВУ. В 1983 окончил Киевское ВИРТУ. Области научных интересов – параллельная обработка информации, САПР.

**СТОПЧЕНКО Геннадий Иванович**, канд. техн. наук, доцент, доцент Харьковского НУРЭ. В 1973 году окончил ХИРЭ. Области научных интересов – теория принятия решений, экспертные системы.

**БОГАТОВА Валентина Вячеславовна**, инженер-программист ХВУ. В 1985 году окончила

*Киевский ТИПП. Область научных интересов – параллельная обработка информации.*