УДК 621.396

В.И. Барсов

*Украинская инженерно-педагогическая академия, Харьков*

# ПРИМЕНЕНИЕ ПОЛИНОМИАЛЬНОЙ МОДУЛЯРНОЙ СИСТЕМЫ СЧИСЛЕНИЯ ДЛЯ СОЗДАНИЯ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ БПЛА

*Рассмотрен подход к построению системы обработки информации и управления беспилотных летательных аппаратов на основе использования полиномиальной модулярной системы счисления. Показано, что предлагаемый подход позволяет существенно повысить производительность обработки информации системой управления беспилотных летательных аппаратов без снижения надежности функционирования.*

***Ключевые слова**: системы обработки информации и управления, модулярная система счисления, надежность, производительность, беспилотный летательный аппарат.*

## Введение

**Постановка проблемы.** Возможность многофункционального и многоцелевого использования беспилотного летательного аппарата (БПЛА) при проведении разнообразных поисковых, спасательных, технических, контрольных, охранных и разведывательных операций вызывает у специалистов вполне обоснованный профессиональный интерес к вопросам связанным с повышением эффективности функционирования технических систем БПЛА. Одной из важнейших технических систем БПЛА является бортовой вычислительный комплекс, основным функциональным элементом которого является система обработки информации и управления (СОИУ). Очевидно, что СОИУ БПЛА должна удовлетворять таким противоречивым техническим требованиям как: высокая надежность функционирования, возможность получения, обработки и передачи больших объемов информации в реальном времени, минимальные массово – габаритные характеристики (позволяет увеличить объем полезной нагрузки и длительность времени пребывания БПЛА в полете).

Исследования, проводимые, в направлении повышения производительности бортовых вычислительных комплексов, были ориентированы в основном на решение вопросов связанных с разработкой соответствующего программно алгоритмического обеспечения. Однако такой подход предполагает значительное увеличение вычислительной сложности реализуемых алгоритмов обработки информации, что ведёт к уменьшению надежности функционирования СОИУ БПЛА, и как следствие снижению общей эффективности использования БПЛА.

Результаты анализа известных методов повышения надёжности функционирования СОИУ БПЛА показали, что методы, основанные на использовании позиционной системы исчисления (ПСС) не всегда удовлетворяют растущим требованиям по повышению производительности средств обработки информации без снижения надежности функционирования СОИУ. В настоящее время основным практическим методом повышения надежности бортовых СОИУ, использующих двоичную ПСС, является метод создания на основе структурного резервирования отказоустойчивых троированных мажоритарных структур обработки информации. Основным недостатком этого метода является большое количество дополнительно вводимого оборудования, необходимого для обеспечения требуемого уровня надежности функционирования СОИУ, что негативно влияет на основные характеристики БПЛА.

Рассмотренные аспекты требуют решения противоречивой научно-технической задачи одновременного повышения надёжности функционирования и производительности обработки информации СОИУ БПЛА при минимальных массово – габаритных характеристиках. Исследования подходов к созданию эффективного бортового вычислительного комплекса показали, что одно из перспективных направлений решения данной задачи связано с созданием одновременно высокоскоростной и высоконадёжной бортовой СОИУ, в основе построения которой лежат новые, нестандартные, нетрадиционные методы обработки информации, непосредственно связанные с переходом к параллельным вычислениям на уровне микроопераций [3].

Проведенные в этом направлении исследования, как отечественными, так и зарубежными учеными показали перспективность применения при создании бортовых СОИУ непозиционной модулярной системы счисления (МСС) [1,2]. Необходимо отметить, что многие алгоритмы приложений МСС базируются на вычислительных процедурах ортогональных преобразований и свертках, когда исходные последовательности дискретных отчетов $x_i(nT)$ представляются в полиномиальной форме. Такие процедуры в МСС выполняются с высокой скоростью и точностью при относительно небольшом динамическом диапазоне вычислений и использовании только арифметических операций умножения и сложения. Поэтому МСС нашла широкое применение в области цифровой обработки сигналов, где успешно реализуются алгоритмы, основанные на процедуре умножения с накоплением, это: цифровая фильтрация, спектральный анализ с использованием ортогональных преобразований, дискретное и быстрое преобразование Фурье, умножение векторов, вектора на матрицу, перемножение матриц и др. Рассматривая вопрос создания высокоскоростных и отказоустойчивых СОИУ необходимо также отметить потенциальные возможности полиномиальной МСС в решении задач контроля и коррекции ошибок в процессе функционирования бортового вычислительного комплекса БПЛА, без остановки процесса обработки информации, что обусловлено основными свойствами МСС [1, 2].

Предлагаемый в статье подход позволяет найти новые, интересные решения рассматриваемой научно-технической задачи, при существенно меньших, чем для СОИУ в ПСС, дополнительных аппаратных и массово-габаритных затратах и улучшении некоторых важных летно-технических характеристик БПЛА. Следовательно можно предположить, что перспективные направления повышения эффективности применения БПЛА целесообразно связывать, в первую очередь, с усовершенствованием СОИУ бортового вычислительного комплекса на основе применения полиномиальной МСС (ПМСС).

**Цель работы** – показать целесообразность создания системы обработки информации и управления беспилотных летательных аппаратов на основе использования ПМСС.

## Основная часть

Существует ряд научных и практических видов деятельности, где можно столкнуться с необходимостью использования модулярной обработки информации, представленной в виде полиномов от одной или нескольких переменных. Во-первых, при использовании быстрого преобразования Фурье и помехоустойчивого кодирования, при передаче или обработке цифровой информации. Во-вторых, при реализации криптографических преобразований в полях Галуа. В третьих, при обработке информации, представленной в многозначных базисах (триплексные числа, кватернионы, бикватернионы пр.).

Арифметические модульные операции над целыми числами и полиномами целесообразно объединить вместе потому, что многие алгоритмы, работающие с целыми или натуральными числами, практически совпадают с алгоритмами, работающими с полиномами от одной переменной. Это выполняется не только для модульных операций сложения, вычитания и умножения, но и для более сложных операций в МСС. Так, определение остатка числа по произвольному модулю $m_i$ МСС, равноценно вычислению полинома в точке. В этом случае представление натурального числа, заданного в ПСС, в виде кода МСС эквивалентно представлению полинома его значениями одновременно в нескольких точках. Обратная операция перевода числа из МСС в ПСС эквивалентна интерполированию полинома. С этой точки зрения перспективным для создания специализированных СОИУ является применение полиномиальной модулярной системы счисления, определяемой над расширенным полем Галуа $GF(2^v)$, где v - положительное целое число [2]. Одно из главных достоинств ПМСС расширенного поля Галуа заключается в возможности варьировать точностью, быстродействием и информационной надежностью в процессе обработки информации. Данная особенность ПМСС представляет собой идеальную основу для разработки высокоэффективных методов реконфигурации СОИУ в ПМСС.

Также следует отметить, что существует возможность выполнения комплексных теоретико-числовых преобразований (ТЧП) на основе реализации модульных операций. Это позволяет вместо вычисления комплексного ТЧП использовать ТЧП над прямой суммой полей $GF(m_1^2)+...+GF(m_m^2)$, что даёт возможность распараллеливать вычисления на уровне арифметических операций и микроопераций, достигая минимальных временных и схемных затрат. Так, если исходные две последовательности дискретных отчетов x(nT) и u(nT) представить в полиномиальной форме, то операцию циклического свертывания можно свести к процедуре умножения этих полиномов. При этом вычисления циклической свертки двух последовательностей x(nT) и u(nT) равной длины N, эквивалентно нахождению коэффициентов полинома y(z) согласно выражения

$$y(z) \equiv x(z)u(z) \bmod z^N - 1,$$

где x(z) и u(z) – полиномиальная форма последовательностей x(nT) и u(nT) соответственно.

Применение ПМСС, определяемой над расширенным полем Галуа $GF(2^v)$, позволяет, на основе специальных способов умножения полиномов, осуществлять вычисления больших сверток, путём замены их на последовательность коротких. Так при вычислении коротких сверток с использованием ПМСС считая, что двучлен $z^N - 1$ может быть представлен в виде произведения S неприводимых полиномов, получим $z^N - 1 = \prod_{i=1}^{S} p_i(z)$, где S – число делителей N.

Простота реализации операций умножения, сложения и вычитания в ПМСС позволила в практических разработках СОИУ, в частности для методов цифровой обработки сигналов, потеснить все остальные нетрадиционные арифметики и стать серьезным конкурентом двоичной ПСС.

Разработка адекватных математических моделей обработки данных ориентированных на реализацию высокоскоростных и отказоустойчивых СОИУ предполагает применение соответствующего математического аппарата. Поэтому целесообразно рассмотреть реализацию арифметических операций над полиномами в МСС.

Пусть задано расширенное поле Галуа, в котором для любого $n \in N$ существует многочлен $f(z) \in P[z]$ степени n, (где $P[z]$ - кольцо полиномов), неприводимый над $GF(p^v)$. Очевидно, что в кольце $P[z]$ неприводимы все многочлены первой степени, однако существуют неприводимые полиномы более высоких степеней. Ясно, что если $f(z)$ - неприводимый многочлен из $P[z]$ степени $n \geq 2$, то он не имеет корней в поле $GF(m)$. Однако этот многочлен всегда можно разложить на множители, используя элементы из некоторого расширения. Поэтому многочлен всегда имеет корни в некотором расширении.

Известно, что расширенное поле Галуа $GF(2^v)$ содержит $2^v - 1$ ненулевых элементов, которые образуют циклическую мультипликативную группу. Следовательно, в этой группе должен существовать хотя бы один элемент d, который являлся бы делителем. Если $2^v - 1$ представляет собой простое число, то $d = 2^v - 1$. Выберем в качестве первообразного корня β, который является элементом порядка k в мультипликативной группе ненулевых элементов $GF(m^v)$. Тогда преобразование входной последовательности отсчетов $x(j)$, являющихся элементами расширенного поля Галуа $GF(m^v)$ в последовательность «частотных» составляющих X(l), определенных над этим же полем имеет вид

$$X(l) = \sum_{j=0}^{d-1} x(j)\beta^{jl}, \quad l = 0,1,...,d-1. \qquad (1)$$

Преобразование обратное (1), то есть эквивалентное множество уравнений, позволяющих определить входной вектор x(j) через совокупность спектральных составляющих X(l), определяется как

$$x(j) = -d^* \sum_{l=0}^{d-1} X(l)\beta^{-jl}, \qquad (2)$$

где $d^*$ - целое число, удовлетворяющее условию $d^* d = m^v - 1$, $j = 0,1,...,d-1$.

Анализ выражений (1) и (2) показывает, что полученное преобразование аналогично ДПФ в комплексной области и действует в пространстве циклической группы порядка d, определенной полем $GF(m^v)$. Так как $\beta^{jl}$ и x(j) представляют собой целочисленные элементы расширенного поля Галуа, то при реализации выражений (1) и (2) будут полностью отсутствовать шумы округления. В результате этого оценка спектральных составляющих с помощью ортогональных преобразований будет более точной по сравнению с ДПФ.

Применение ПМСС, использующей в качестве модулей непозиционной системы минимальные многочлены расширенного поля Галуа $p_1(z), p_2(z),..., p_n(z)$, позволяет задать следующее отображение

$$F: A(z) \to (\alpha_1(z), \alpha_2(z),..., \alpha_n(z)), \qquad (3)$$

где $$A(z) \in M(z); M(z) = \prod_{i=1}^{n} p_i(z); \alpha_i(z) \equiv A(z) \bmod p_i(z).$$

Обратный изоморфизм задается отображением

$$F^{-1}: (\alpha_1(z), \alpha_2(z),..., \alpha_n(z)) \to A(z), \qquad (4)$$

где $A(z) = m_1(z)P_1(z)\alpha_1(z) + ... + m_n(z)P_n(z)\alpha_n(z);$

$$P_i(z) = M(z)/p_i(z);$$

$$m_i(z) = (P_i(z) \bmod p_i(z))^{-1} \bmod p_i(z).$$

С учётом выражений (3) и (4) можно соответственно представить выражения (1) и (2) как

$$F[X(l)] = \sum_{j=0}^{d-1} F[x(j)]F[\beta^{jl}],$$

$$F[x(j)] = d^* \sum_{l=0}^{d-1} F[X(l)]F[\beta^{-jl}]. \qquad (5)$$

Систему (5) можно интерпретировать как:

$$(X_1(l),...,X_n(l)) = \left( \sum_{j=0}^{d-1} x_1(j)\beta_1^{jl},..., \sum_{j=0}^{d-1} x_n(j)\beta_n^{jl} \right),$$

$$(x_1(j),...,x_n(j)) = \left( d^* \sum_{l=0}^{d-1} X_1(l)\beta_1^{-jl},..., d^* \sum_{l=0}^{d-1} X_n(l)\beta_n^{-jl} \right),$$

где $$x_i(j) \equiv x(j) \bmod p_i(z); \beta_i^{\pm jl} \equiv \beta^{\pm jl} \bmod p_i(z); X_i(l) \equiv X(l) \bmod p_i(z).$$

Приравнивая соответствующие координаты, получаем n пар преобразований прямого вида

$$\begin{cases} X_1(l) = \sum_{j=0}^{d-1} x_1(j)\beta_1^{jl} \, mod \, p_1(z), \\ \qquad ... \\ X_n(l) = \sum_{j=0}^{d-1} x_n(j)\beta_n^{jl} \, mod \, p_n(z), \end{cases} \qquad (6)$$

и обратного вида

$$\begin{cases} x_1(j) = d^* \sum_{l=0}^{d-1} X_1(l)\beta_1^{-jl} \, mod \, p_1(z), \\ \qquad ... \\ x_n(j) = d^* \sum_{l=0}^{d-1} X_n(l)\beta_n^{-jl} \, mod \, p_n(z). \end{cases} \qquad (7)$$

Применение выражений (6) и (7) позволяет свести вычисление ортогональных преобразований сигналов в расширенном поле Галуа над кольцом M(z) к n независимым вычислениям, проводимым по модулям $p_i(z)$ ПМСС. Основным достоинством такой непозиционной арифметики является возможность организации параллельных вычислений и, следовательно, значительное повышение производительности СОИУ. Поскольку реализация ПМСС обеспечивает представление входного сигнала в виде n-разрядного $(n = k + r)$ вектора $x = (\alpha_1(z), \alpha_2(z), ..., \alpha_{k+r}(z))$, то $\alpha_i(z) \in Z_{p_i(z)}$ и арифметические операции над компонентом $\alpha_i(z)$ выполняются по законам конечного полиномиального кольца $Z_{p_i(z)}$. При этом разрядная сетка каждого тракта обработки информации имеет длину $\Psi_i = \operatorname{ord} p_i(z)$, $i = 1, ..., n$. Следовательно, длина разрядной сетки КОИ $\Psi_i$, , реализующего операции кольца $p_i(z)$, всегда значительно меньше диапазона $P_{раб}(z) = \prod_{i=1}^{k} p_i(z)$, реализующего операции с числами разрядностью ord $P_{раб}(z)$- 1.

Следует отметить, что между многочленами и элементами конечных полей имеется связь, которая во многом определяет свойства многочленов. Элементы поля Галуа играют для многочленов над конечным полем ту же роль, которую комплексные числа играют для многочленов над вещественным полем. Аналогично тому, как каждый многочлен с вещественными коэффициентами можно разложить на множители, допустив введение комплексных чисел, каждый многочлен с коэффициентами из конечного поля можно разложить на множители с помощью элементов из некоторого расширения этого поля. Связь между сомножителями и корнями многочленов с коэффициентами из конечного поля полностью аналогична связи между сомножителями и корнями многочленов с вещественными коэффициентами.

Если рассмотреть корни неприводимого многочлена над конечным полем, где f(z) – неприводимый многочлен степени n над полем $P = GF(q), q = p^v$ и $F = P(\beta)$ - расширение поля P, порожденное корнем β многочлена f(z), то F – минимальное поле разложения многочлена f(z) над $P = GF(q), q = p^v$, при $f(z) = \sum_{i=0}^{n} f_i z^i$ имеет в поле F ровно n корней $\beta, \beta^q, \ldots, \beta^{q^{n-1}}$. Так как $f_i \in P$, то справедливо $f_i^q = f_i, i \in \overline{0, n}$. Тогда $\forall\ s \in N$:

$$f(\beta^{q^s}) = \sum_{i=0}^{n} f_i (\beta^i)^{q^s} = \sum_{i=0}^{n} (f_i \beta^i)^{q^s} = f(\beta)^{q^s} = 0 .$$

Кроме этого, заметим, что неприводимый многочлен f(z) степени n является делителем двучлена $z^{q^n} - z$, т.е. $f(z) \mid z^{q^n} - z$. Следовательно, уравнение $z^{q^n} - z = 0$, имеет в кольце $P[z]/f(z)$ ровно $q = p^v$ решений из множества $\overline{P} = \left\{[\beta]_{f(z)}, \beta \in GF(p^v)\right\}$. Тогда справедливо следующее выражение

$$z^{p^v - 1} - 1 = \prod_{j=1}^{p^v - 1} (z - \beta^j) \qquad (8)$$

Согласно выражения (8) все элементы поля $GF(p^v)$ являются корнями многочлена $z^{p^v - 1} - 1$.

Пусть α – примитивный элемент поля $GF(p^v)$, и пусть m – порядок минимального полинома элемента α над расширенным полем Галуа. Тогда любой элемент β, из множества элементов $GF(p^v)$, $q = p^v$, может быть представлен в виде

$$\beta = \lambda_{m-1}\alpha^{m-1} + \lambda_{m-2}\alpha^{m-2} + \ldots + \lambda_1 \alpha^1 + \lambda_0 .$$

Так как каждый элемент β рассматриваемого вида принадлежит расширенному полю Галуа, то такое представление единственно. Известно, что каждый элемент $\beta^j \in GF(p^v), j = 1, ..., p^v - 1$, имеет единственный минимальный полином над полем. При этом минимальный полином $p_i(z)$ элемента $\beta^j$ – делитель полинома $g(z), \operatorname{ord} p_i(z) \le \operatorname{ord} g(z)$, в котором данный элемент является корнем. Элемент $\beta^j$ всегда является корнем полинома $z^{p^v} - z$.

Согласно теоремы об однозначности разложения

$$z^{p^v} - z = p_1(z) p_2(z) \ldots p_n(z) , \qquad (9)$$

где множители в правой части выражения представляют собой простые полиномы над полем $GF(p)$.

Тогда, если в (9) $p_1(z), ..., p_n(z)$ - полиномы, являющиеся минимальными для одного или нескольких элементов из $GF(p^v)$, представляют собой попарно взаимно простые ненулевые полиномы, то

$$\operatorname{ord}(z^{p^v} - z) = \operatorname{ord}(p_1(z) ... p_n(z)) =$$
$$= НОК(\operatorname{ord}(p_1(z), ..., p_n(z))).$$

Обобщая полученный результат, выражение (8) можно представить в следующем виде

$$z^{p^v - 1} + 1 = \prod_{j \in J} p_j(z) .$$

Следовательно, если в качестве оснований новой алгебраической системы выбрать минимальные многочлены $p_i(z)$ поля $GF(p^v)$, то любой полином $A(z)$, удовлетворяющий условию $A(z) \in P_{пол}$, , где $P_{пол} = \prod_{i=1}^{n} p_i(z) = z^{p^v - 1} - 1$ можно представить в виде n-мерного вектора $A(z) = (\alpha_1(z), \alpha_2(z), ..., \alpha_n(z))$, где $\alpha_i(z) = \operatorname{rest}(A(z) / p_i(z))$, $i = 1, 2, ..., n$.

Рассмотрим реализацию позиционных операций СОИУ в ПМСС. Пусть операнды имеют вид

$$\alpha_i(z) = \lambda^i_{m_i-1} z^{m_{i-1}} + \lambda^i_{m_i-2} z^{m_{i-2}} + \ldots + \lambda^i_1 z^1 + \lambda_0$$

и соответственно

$$\beta_i(z) = \gamma^i_{m_i-1} z^{m_{i-1}} + \gamma^i_{m_i-2} z^{m_{i-2}} + \ldots + \gamma^i_1 z^1 + \gamma_0 ,$$

а степень минимального многочлена $- m_i$.

Поскольку для данной алгебраической системы сравнения по одному и тому же модулю можно почленно складывать, вычитать и умножать, то для суммы двух полиномов $A(z)$ и $B(z)$, имеющих соответственно модулярные коды

$$\left(\alpha_1(z), \alpha_2(z), \ldots, \alpha_n(z)\right) \text{ и } \left(\beta_1(z), \beta_2(z), \ldots, \beta_n(z)\right)$$

справедливы соотношения:

$$\left|A(z)+B(z)\right|^+_{p(z)} = \left(\left|\alpha_1(z)+\beta_1(z)\right|^+_{p_1(z)}, \ldots, \left|\alpha_n(z)+\beta_n(z)\right|^+_{p_n(z)}\right) =$$

$$= \left(\lambda^1_0 \oplus \gamma^1_0, \sum_i (\lambda^2_{m_2-i} \oplus \gamma^2_{m_2-i}) z^i, \right.$$

$$\left. \sum_j (\lambda^3_{m_2-j} \oplus \gamma^3_{m_2-j}) z^j, \ldots, \sum_w (\lambda^n_{m_2-w} \oplus \gamma^n_{m_2-w}) z^w \right).$$

где $\oplus$ - операция суммирования по модулю p.

Аналогичные соотношения верны и для операции вычитания в ПМСС.

Значит полученные подмножества по основаниям $p_i(z), i = 1, \ldots, n$ ПМСС образуют циклическую группу сложения, которая содержит конечное число элементов. В силу дистрибутивности операции умножения операндов над кольцом, на элементы этого кольца относительно операции сложения имеем

$$\left|A(z) \cdot B(z)\right|^+_{p(z)} = \left(\left|\alpha_1(z) \cdot \beta_1(z)\right|^+_{p_1(z)}, \ldots, \left|\alpha_n(z) \cdot \beta_n(z)\right|^+_{p_n(z)}\right) =$$

$$= \left(\lambda^1_0 \gamma^1_0, \sum_{l=0}^{2m_2-2} q^2_{2m_2-2-l} z^{2m_2-2-l}; \ldots; \sum_{j=0}^{2m_n-2} q^n_{2m_n-2-j} z^{2m_n-2-j}\right),$$

где $q^i_s = \sum_{k=0}^{s} \lambda^i_k \gamma^i_{s-k}$ - линейная свертка; $i = 0, \ldots, n$.

Из приведенных выше соотношений видно, что выполнение операций над операндами в расширенном поле Галуа $GF(p^\nu)$ производятся независимо по каждому из модулей $p_i(z)$, что указывает на параллелизм данной алгебраической системы. При этом порядок операндов $A(z)$ и $B(z)$ уменьшается в несколько раз. Данное обстоятельство является базовой предпосылкой для построения высокоскоростных СОИУ для БПЛА.

Можно выделить два основных направления использования ПМСС при создании специализированных СОИУ. Основу первого направления составляет применение ПМСС для построения отдельных узлов, выполняющих одну или несколько однотипных арифметических операций. В данном случае используется функционально законченное устройство с простым управлением, предназначенное для реализации конкретной базовой операции в реальном времени функционирования. Второе направление - составляют разработки крупных и функционально сложных СОИУ, полностью функционирующих в ПМСС. Поскольку основания системы представляют собой полиномы с небольшими степенями, то арифметические действия можно описать в виде таблиц или использовать СОИУ с заранее просчитанной детерминированной структурой.

На рис. 1 представлена трёхуровневая модель информационной технологии конвейерной обработки данных, реализуемая СОИУ БПЛА функционирующей в ПМСС расширенного поля Галуа GF($2^n$), имеющая 5 информационных и 2 контрольных основания. На первом уровне осуществляется прямое преобразование информации представленной в позиционном коде в непозиционный код ПМСС, в соответствии с алгоритмом реализации данной немодульной процедуры. Второй уровень конвейерной обработки связан с реализацией непосредственно процесса обработки информации использующего совокупность принципов, моделей, методов и алгоритмов $F = [f_1, f_2, \ldots, f_M]$ реализации модульных и немодульных операций, контроля, диагностики и исправления ошибок в ПМСС. Также, в соответствии с заданными управляющими воздействиями, на данном уровне реализуются обменные операции $\hat{U}=[\mathring{u}_1, \hat{u}_2, \ldots, \hat{u}_m]$. Полученный результат поступает на третий уровень, где осуществляется обратное преобразование полученного информационного продукта из модулярного кода в позиционный двоичный код. При возникновении отказов осуществляется поиск и локализация местоположения отказа, а также исправление возникших ошибок. При необходимости выполняется реконфигурация структуры СОИУ, с использованием множества $O = \{o_1, o_2, \ldots, o_H\}$ методов, алгоритмов и схем реконфигурации. Лицо принимающее решение (ЛПР) выдаётся директивные указания Q(t) необходимая для выработки решений по управлению.

## Выводы

1. Проведенный анализ влияния используемой системы счисления на основные технико-экономические характеристики СОИУ БПЛА показал, что с точки зрения обеспечения необходимых значений производительности обработки информации (без снижения показателей надежности) наиболее эффективным путем является применение непозиционных кодовых структур полиномиальной модулярной системы счисления. Применение двоичных ПСС для решения данной научно-технической задачи предполагает некоторое ухудшение основных тактико-технических характеристик БПЛА.

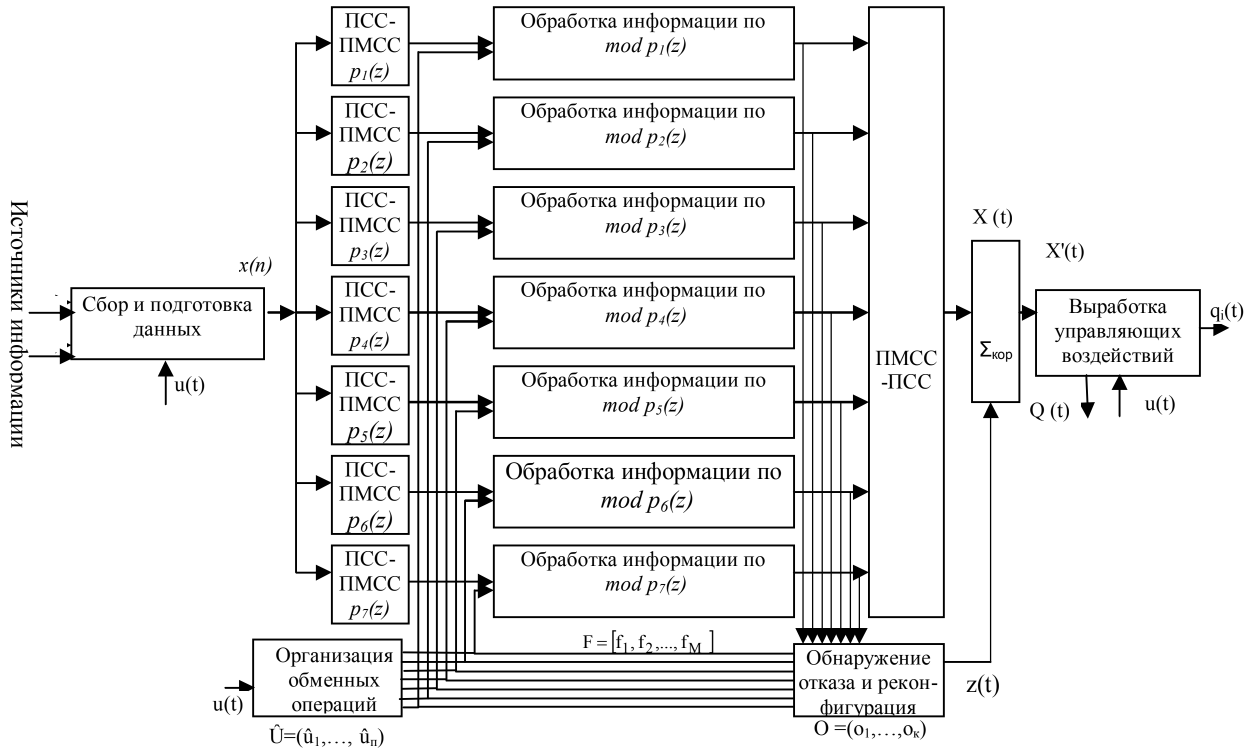


Рис. 1. Модель информационной технологии реализуемой СОИУ в ПМСС

2. Использование ПМСС существенно влияет на архитектуру и принципы функционирования СОИУ БПЛА, позволяя повысить надежность системы при значительно меньшем количестве, чем в позиционных системах исчисления, дополнительно вводимого избыточного оборудования, что имеет особенное значение для бортовых система обработки информации и управления летательных аппаратов.

3. Применение ПМСС позволяет в максимальной степени использовать все преимущества параллельно-конвейерной организации вычислений, что способствует увеличению функциональных возможностей СОИУ БПЛА, в рамках существующих ограничений на массо-габаритные характеристики.

## Список литературы


1. *Методы многоверсионной обработки информации в модулярной арифметике: моногр. / В.И. Барсов, В.А. Краснобаев и др. – Х.: МОН, УИПА, 2008. – 460 с.*
2. *Барсов В.И. Методология параллельной обработки информации в модулярной системе счисления: моногр. / В.И. Барсов, Л.С. Сорока, В.А. Краснобаев. – Х.: МОН, УИПА, 2009. – 288 с.*
3. *Барсов В.І. Концепція створення систем обробки інформації безпілотних літальних апаратів на основі використання модулярної арифметики / В.І. Барсов // Електроінформ.- Львів, 2008. – № 4. – С. 9 – 11.*


*Поступила в редколлегию 5.02. 2012*

**Рецензент:** д-р техн. наук, проф. В.М. Илюшко, Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «ХАИ», Харьков.

### ЗАСТОСУВАННЯ ПОЛІНОМІАЛЬНОЇ МОДУЛЯРНОЇ СИСТЕМИ ЧИСЛЕННЯ ДЛЯ ПОБУДОВИ СИСТЕМ УПРАВЛІННЯ БПЛА

В.І. Барсов

*Розглянутий підхід до побудови системи обробки інформації і управління безпілотних літальних апаратів на основі використання поліноміальної модулярної системи числення. Показано, що запропонований підхід дозволяє істотно підвищити продуктивність обробки інформації системою управління безпілотних літальних апаратів без зниження надійності функціонування.*

***Ключові слова**: системи обробки інформації і управління, модулярна система числення, надійність, продуктивність, безпілотний літальний апарат.*

### APPLICATION OF POLYNOMIAL MODULAR NOTATION FOR CONSTRUCTION OF UNMANNED AIRCRAFT CONTROL SYSTEM

V.I. Barsov

*Going is considered near the construction of the system of treatment of information and management of unmanned aircrafts on the basis of the use of polynomial modular notation. It is rotined that offered approach allows substantially to promote the productivity of treatment of information control the system unmanned aircrafts without the decline of reliability of functioning.*

***Keywords**: systems of treatment of information and management, modular notation , reliability, productivity, unmanned aircraft.*