

Санкт-Петербургский политехнический  
университет Петра Великого  
Институт физики, нанотехнологий и телекоммуникаций  
Кафедра «Радиотехника и телекоммуникации»

Работа допущена к защите

Зав. Кафедрой РИТК

Сороцкий В.А.

« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2015г.

## **ВЫПУСКНАЯ РАБОТА БАКАЛАВРА**

Тема: Коррелятор для пеленгатора радиомаяков на базе сигнального процессора *TMS320C6455*.

Направление: 11.03.02 Инфокоммуникационные технологии и системы  
СВЯЗИ

Выполнил студент гр. 43422/3

(подпись)

А.А. Остриков

Руководитель, ст. преп.

(подпись)

В.Т. Венедиктов

Санкт-Петербург

2015

## РЕФЕРАТ

Работа содержит 30 страниц, 8 рисунков, 12 библиографических названий.

Ключевые слова: ЦИФРОВАЯ ОБРАБОТКА СИГНАЛОВ, ПЕЛЕНГАЦИЯ, ПЕЛЕНГ, ФАЗОВЫЙ ПЕЛЕНГАТОР, СИГНАЛЬНЫЙ ПРОЦЕССОР TEXAS INSTRUMENTS TMS320C6455, CODE COMPOSER STUDIO

Описание содержания работы и полученных результатов: в работе были разработаны две версии коррелятора для фазового пеленгатора радиомаяков; было произведено сравнение их быстродействия, и был выбран оптимальный из них, по критерию минимума затрачиваемых на работу тактов процессора.

Цель работы состоит в разработке коррелятора для фазового пеленгатора радиомаяка и реализации его на цифровом сигнальном процессоре.

В результате исследования разработаны алгоритмы вычисления разности фаз, реализованные на цифровом сигнальном процессоре.

Задание на выпускную квалификационную работу выполнено в полном объеме.

**ОГЛАВЛЕНИЕ**

ВВЕДЕНИЕ.....	4
ГЛАВА 1. Методы радиопеленгации.....	5
1.1 Амплитудный метод.....	5
1.1.1 Метод максимума.....	6
1.1.2 Метод минимума.....	7
1.1.3 Метод сравнения.....	8
1.2 Фазовый метод.....	9
1.2.1 Однокоординатный фазовый метод.....	9
1.2.2 Двухкоординатный фазовый метод.....	12
1.2.3 Цифровые фазовые пеленгаторы.....	16
ГЛАВА 2. Реализация коррелятора на базе сигнального процессора <i>TMS320C6455</i> .....	18
2.1 Обоснование выбора сигнального процессора.....	18
2.2 Структура сигнала радиомаяка.....	20
2.3 Структура пеленгатора.....	22
2.4 Реализация коррелятора.....	23
Заключение.....	25
Приложение А Реализация коррелятора на языке C++.....	26
Приложение Б Реализация коррелятора на ассемблере.....	27
Приложение В Программа для сравнения быстродействия алгоритмов.....	28
Список литературы.....	29

## ВВЕДЕНИЕ

Радиопеленгация – это нахождение направления на источник радиоизлучения. Соответствующие устройства называются пеленгаторами. Любой пеленгатор, независимо от того, какой метод пеленгации он реализует, включает в свой состав следующие составные части: антенная система, тракт приёма радиолокационной информации (РЛИ), устройство обработки РЛИ и выдачи результатов пеленгации.

Радиопеленгация широко применяется в радионавигации, радиомониторинге (при поиске источников радиопомех или источников несанкционированного радиоизлучения), радиоэлектронной борьбе, в разведке, также существуют соревнования по спортивной радиопеленгации.

В данной работе исследуется цифровой фазовый пеленгатор радиомаяков. Радиомаяк представляет собой источник импульсного радиоизлучения в широком спектре. Для пеленгации данного радиомаяка в реальном времени необходимо быстрое вычисление разности фаз, посредством скалярного произведения. В связи с этим, используется сигнальный процессор, а именно *TMS320C6455*. Коррелятор, вычисляющий скалярное произведение, был реализован на языке *C++* и на ассемблерном языке сигнального процессора, в связи с тем, что первая реализация не удовлетворяла требованиям, предъявляемым к пеленгатору.

## ГЛАВА 1. Методы радиопеленгации

В наше время наиболее часто используются амплитудный и фазовый виды или методы пеленгации. Существует и частотный метод, но он применяется при пеленгации источников частотно-модулированных сигналов вместе с амплитудным методом, для повышения точности пеленгации.

### 1.1 Амплитудный метод

Данный метод пеленгации основывается на использовании диаграммы направленности антенны (ДНА), а именно используется зависимость амплитуды принимаемого сигнала от отклонения ДНА от направления на источник сигнала. Диаграмма направленности показывает графически зависимость принимаемой мощности радиоизлучения от текущего направления антенны. Направление, как правило, определяется нормалью к антенной решётке. Если амплитудный пеленгатор имеет один антенный канал и, соответственно, формирует одну ДНА, то он называется одноканальным. В противном случае, пеленгатор многоканальный. Существует три основных метода одноканальной пеленгации: метод максимума, метод минимума и метод сравнения амплитуд.

### 1.1.1 Метод максимума

В данном методе цель определяется по направлению, в котором антенна принимает самый сильный по амплитуде сигнал. Данный метод легко реализуем, но точность пеленгации ниже, чем при пеленгации методом минимума, потому что пеленгация ведётся в области максимума косинусоидальной функции, где её крутизна минимальна. Второй вид пеленгации требует формирование двух ДН, отнесенных между собой на определённый угол, и цель определяется по минимуму принимаемого излучения (рисунок 1.1).

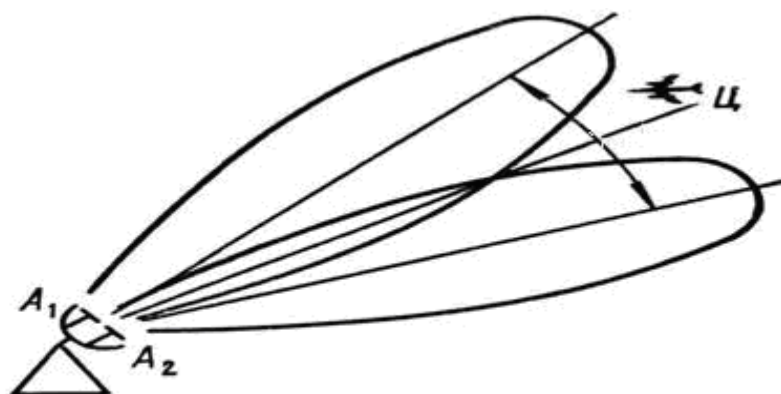


Рисунок 1.1

### 1.1.2 Метод минимума

Метод минимума выигрывает в точности, но является технически более сложным и менее помехоустойчивым, так как амплитуда принимаемого сигнала при определении пеленга часто близка к нулю. По этим причинам, данный метод используется при пеленгации мощных сигналов радиомаяков, а в радиолокационных станциях (РЛС) обнаружения использоваться не может, так как отражённые сигналы, поступающие на РЛС, маломощные, следовательно, отношение сигнал-шум минимально.

### 1.1.3 Метод сравнения

Принцип метода сравнения амплитуд, или равносигнального метода показан на рисунке 1.2.

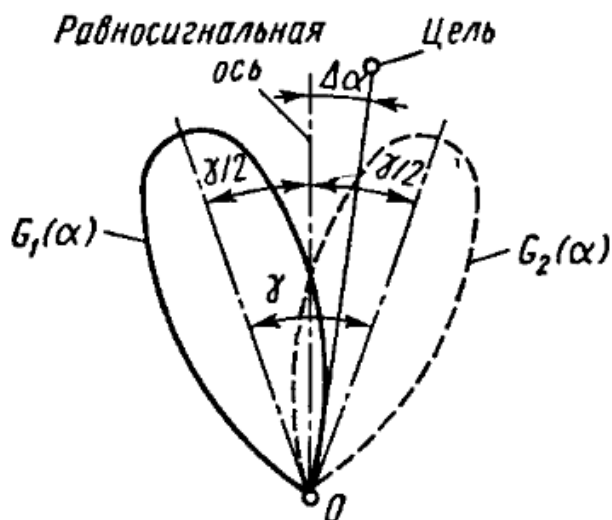


Рисунок 1.2

При использовании данного метода сравниваются амплитуды сигналов, принятых в двух положения ДНА. Объект пеленгуется в тот момент, когда находится на равносигнальной оси, при этом отношение амплитуд сигнала, принятого в первом и втором положении ДНА равно единице. Для повышения точности пеленгации, угол смещения ДНА  $\gamma$  выбирается таким образом, чтобы ДНА пересекались в области с высокой крутизной. Данный метод может быть реализован как в одноканальном пеленгаторе, так и в многоканальном. В первом случае будут сравниваться сигналы, принятые в двух положениях одной и той же ДНА, а во втором, создаются две пересекающиеся ДНА и производится одновременное сравнение. При использовании многоканального пеленгатора достигается большая точность, так как ликвидируются погрешности из-за флуктуаций амплитуды сигнала.



## 1.2 Фазовый метод

### 1.2.1 Однокоординатный фазовый метод

Фазовый радиопеленгатор представляет собой две или более антенн, на расстоянии друг от друга. Фазовый метод заключается в измерении фазовых сдвигов сигналов, принимаемых антеннами. Пусть, в рассматриваемом радиопеленгаторе для пеленгации в одной плоскости две ненаправленные антенны.

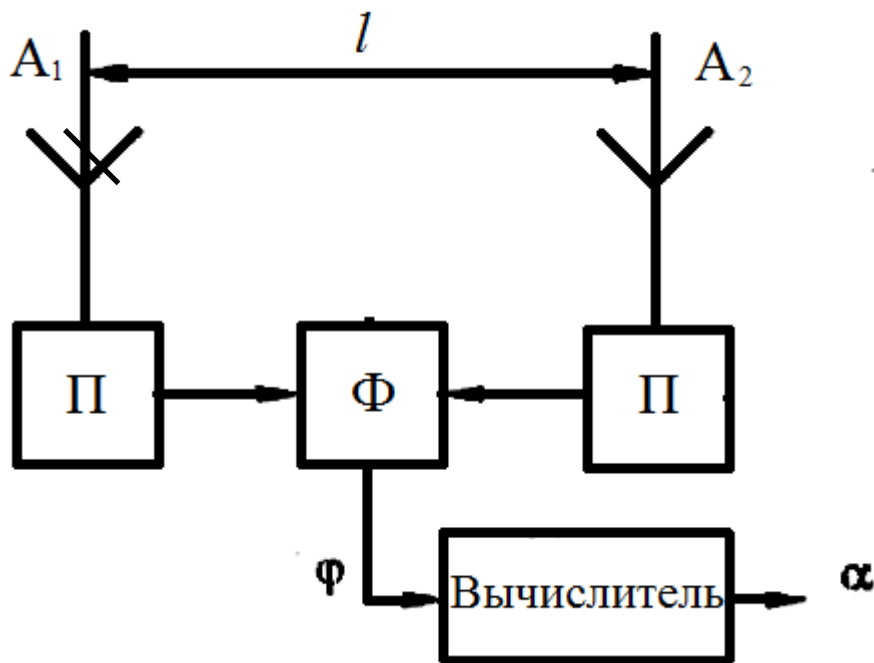


Рисунок 1.3

Расстояние между антеннами называется базой и обозначается на рисунке буквой  $l$  (рисунок 1.3). От размера базы зависит ДНА. Если база меньше половины длины волны принимаемого сигнала, то разности фаз, вычисляемые пеленгатором, являются однозначными, а ДНА не имеет боковых лепестков. В противном случае, у ДНА появляются боковые лепестки, что ведёт к неоднозначности разностей фаз, которые, однако, могут быть устранены

следующим образом: в двухкоординатных фазовых пеленгаторах по каждой оси координат устанавливаются антенны, и реализуются алгоритмы пеленгации в одной плоскости. Буквой  $\Pi$  обозначается приёмное устройство с ограничителем амплитуды, а буквой  $\Phi$  – фазометр. Пусть объект находится на расстоянии  $D$ , причем  $D \gg l$ . При этом условии считается, что сигналы, приходящие от объекта, поступают на антенны под одним и тем же углом и волну, падающую на антенную систему, можно считать плоской. Задержка сигнала, приходящего на антенну  $A_1$ , относительно сигнала, приходящего на  $A_2$ :

$$\tau_3 = \frac{l \cos \alpha_x}{c},$$

где  $c$  – скорость распространения сигнала,  $\alpha_x$  – угол прихода волны (рисунок 1.4).

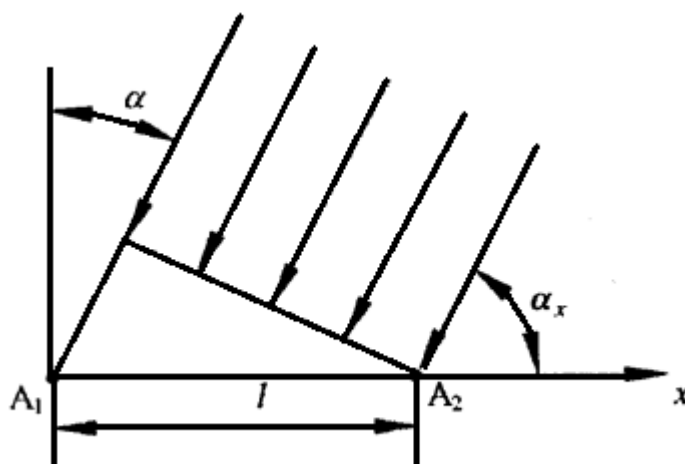


Рисунок 1.4

При задержке  $\tau_3$  фазовый сдвиг сигналов (в радианах) находится по формуле:

$$\Phi = 2\pi \frac{l}{\lambda} \cos \alpha_x,$$

где  $\lambda$  – длина волны принимаемого сигнала.

При отсчёте угла прихода волны от нормали к оси  $x$ , используют следующее выражение:

$$\alpha = \arcsin \frac{\Phi \lambda}{2\pi l}.$$

Фазовые пеленгаторы характеризуются разрешающей способностью и точностью. Здесь, под разрешающей способностью понимается минимальный угол между двумя отдельно запеленгованными объектами. При наличии нескольких пеленгуемых объектах на относительно малом расстоянии друг от друга, имеет место интерференция, вследствие которой, нахождения направления на эти объекты может быть произведено неверно. На точность, в свою очередь, влияют такие факторы, как рефракция, дифракция, отражение волн от местных предметов, погрешности настройки приёмных устройств, помехи (как внешние, так и внутренние – шумы устройств).

### 1.2.2 Двухкоординатный фазовый метод

Данные пеленгаторы находят обе угловые координаты, задающие положение объекта в пространстве. Как правило, это азимут  $\alpha$  и угол места  $\beta$ . Угловое положение объекта  $C$  в трёхмерном пространстве представлено на рисунке 1.5:

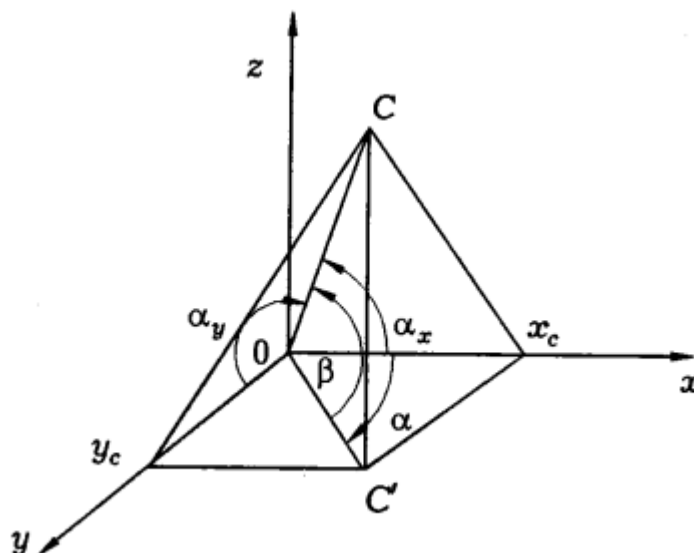


Рисунок 1.5

Направляющие косинусы вычисляются следующим образом:

$$v = \cos \alpha_x = \frac{x_c}{|OC|} = \cos \beta \cos \alpha,$$

$$u = \cos \alpha_y = \frac{y_c}{|OC|} = \cos \beta \sin \alpha,$$

где  $x_c$  и  $y_c$  – проекции точки нахождения объекта на оси  $x$  и  $y$ .

Рассмотрим случай, когда антенны и объект расположены следующим образом (рисунок 1.6):

$$A_1(x_1, y_1),$$

$$A_2(x_2, y_2),$$

$$C(x_c, y_c, z_c).$$

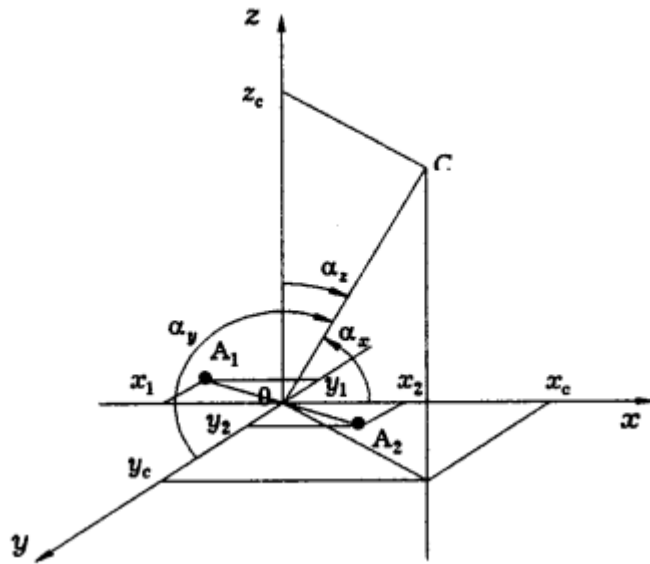


Рисунок 1.6

Как и при рассмотрении однокоординатного фазового пеленгатора, расстояние  $OC$  много больше базы пеленгатора. Разность фаз сигналов, наведённых в  $A_1$  и  $A_2$ , равна:

$$\Phi = \frac{2\pi}{\lambda} |\overline{A_1A_2}| \cos(\overline{A_1A_2} \wedge \overline{OC}) = \frac{2\pi}{\lambda} |\overline{A_1A_2}| \cdot \frac{(\overline{A_1A_2}, \overline{OC})}{|\overline{A_1A_2}| |\overline{OC}|} =$$

$$= \frac{2\pi}{\lambda} |\overline{A_1A_2}| \cdot \frac{(x_1 - x_2)x_c + (y_1 - y_2)y_c}{|\overline{A_1A_2}| |\overline{OC}|} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \Phi = \frac{2\pi}{\lambda} [(x_1 - x_2) \cos \alpha_x + (y_1 - y_2) \cos \alpha_y].$$

Антенны двухкоординатных фазовых пеленгаторов обычно располагают на плоскости вдоль осей прямоугольной системы координат (рисунок 1.7):

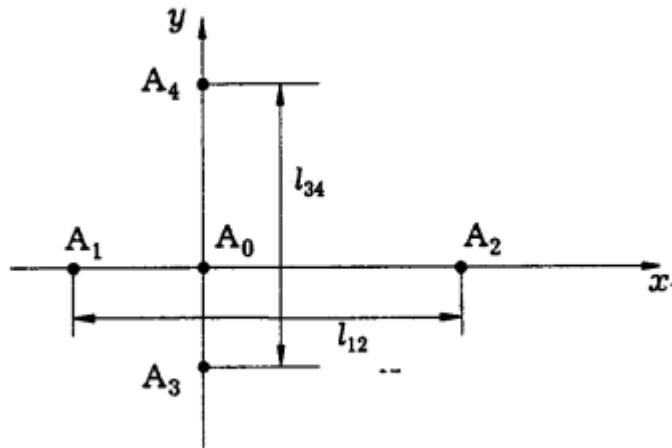


Рисунок 1.7

Фазометрические базы равны:

$$l_{12} = (x_2 - x_1), \quad y_2 - y_1 = 0,$$

$$l_{34} = (y_4 - y_3), \quad x_2 - x_1 = 0.$$

Разности фаз сигналов, соответственно, равны:

$$\Phi_{12} = \frac{2\pi l_{12}}{\lambda} \cos \beta \cos \alpha,$$

$$\Phi_{34} = \frac{2\pi l_{34}}{\lambda} \cos \beta \sin \alpha.$$

Из двух последних формул можем вычислить азимут и угол места следующим образом:

$$\alpha = \arctan \frac{\Phi_{34} l_{12}}{\Phi_{12} l_{34}},$$

$$\beta = \arccos \frac{\lambda}{2\pi} \sqrt{\left(\frac{\Phi_{12}}{l_{12}}\right)^2 + \left(\frac{\Phi_{34}}{l_{34}}\right)^2}.$$

Данные формулы являются базовыми при традиционном построении двухкоординатного фазового пеленгатора.

### 1.2.3 Цифровые фазовые пеленгаторы

При реализации цифрового фазового пеленгатора, в качестве фазометра (обозначен буквой  $\Phi$  на рисунке 1.3) используется коррелятор. Обе антенны пеленгатора с задержкой по времени принимают один и тот же сигнал от объекта.

Сигналы, принятые первой и второй антенной, соответственно, равны:

$$s_1(t) = \begin{cases} A_1 \cos(\omega_0 t + \varphi(t)), t \in [0, T] \\ 0, t \notin [0, T] \end{cases},$$

$$s_2(t) = \begin{cases} A_2 \cos(\omega_0(t - \Delta t) + \varphi(t - \Delta t)), t \in [\Delta t, T + \Delta t] \\ 0, t \notin [\Delta t, T + \Delta t] \end{cases},$$

где  $\Delta t$  - разница времени прихода сигнала на первую и вторую антенну.

Для расчёта  $\Delta t$  воспользуемся формулой:

$$\Delta t = \frac{l}{c},$$

где  $l$  – база пеленгатора, а  $c$  – скорость света.

$$\Delta t = \frac{0,1 \text{ м}}{3 \cdot 10^8 \frac{\text{м}}{\text{с}}} = 3,3 \cdot 10^{-10} \text{ с}.$$

Один элемент сигнала передаётся за время  $t_э = 10^{-7} \text{ с}$ .

Как видно из двух последних выражений,  $\Delta t \ll t_э$ , поэтому сигнал, принятый второй антенной, можно записать как:

$$s_2(t) = \begin{cases} A_2 \cos(\omega_0(t - \Delta t) + \varphi(t)), t \in [\Delta t, T + \Delta t] \\ 0, t \notin [\Delta t, T + \Delta t] \end{cases}.$$



Комплексные огибающие сигналов равны:

$$F_1(t) = \begin{cases} A_1 e^{j\varphi(t)}, & t \in [0, T] \\ 0, & t \notin [0, T] \end{cases},$$

$$F_2(t) = \begin{cases} A_2 e^{j\varphi(t)} e^{-j\omega_0 \Delta t}, & t \in [\Delta t, T + \Delta t] \\ 0, & t \notin [\Delta t, T + \Delta t] \end{cases}.$$

Вычислим скалярное произведение комплексных огибающих:

$$\begin{aligned} (F_1(t), F_2(t)) &= \int_{\Delta t}^T F_1(t) \cdot F_2^*(t) dt = \int_{\Delta t}^T A_1 e^{j\varphi(t)} \cdot A_2 e^{-j\varphi(t)} e^{j\omega_0 \Delta t} dt = \\ &= A_1 A_2 \int_{\Delta t}^T e^{j\omega_0 \Delta t} dt = A_1 A_2 T e^{j\omega_0 \Delta t}. \end{aligned}$$

При размере базы  $l \leq \frac{\lambda}{2}$ , где  $\lambda$  – длина волны принимаемого сигнала, задержка по времени является причиной сдвига по фазе. Разность фаз между сигналами можно найти при помощи вычисления аргумента скалярного произведения комплексных огибающих этих двух сигналов. Это реализуется в корреляторе, на базе сигнального процессора *TMS320C6455*.

Цель работы состоит в разработке коррелятора для фазового пеленгатора радиомаяка и реализации его на цифровом сигнальном процессоре. Для этого необходимо реализовать алгоритм вычисления разности фаз на базе сигнального процессора.

## ГЛАВА 2. Реализация коррелятора на базе сигнального процессора *TMS320C6455*

### 2.1 Обоснование выбора сигнального процессора

По сравнению с обычными микропроцессорами, сигнальные процессоры имеют определённые особенности в архитектуре, которые направлены на ускорение реализации задач цифровой обработки сигналов. Наиболее распространёнными являются вычисление прямого и обратного преобразования Фурье, поиск сигналов, цифровая фильтрация сигналов. Выполнение данных задач сводится к поэлементному перемножению векторов чисел и вычислению суммы данных произведений. Архитектура сигнальных процессоров оптимизирована по быстродействию для реализации вышеописанной операции, однако, помимо этого, при разработке сигнальных процессоров, также учитывалось повышение производительности для выполнения следующих операций:

- Аппаратно реализуемая операция умножения с накоплением ( $x = x + a \cdot b$ ), которая выполняется за один машинный цикл;
- Возможность одновременной в одном машинном такте выборки команды и двух операндов для максимально быстрого выполнения операции умножения с накоплением;
- Использование генераторов адресных последовательностей для векторно-конвейерной обработки.

Современные сигнальные процессоры поддерживают вышеописанные типовые операции цифровой обработки сигналов на аппаратном уровне, но для оптимизации выполнения задач, требующих большего количества тактов (или времени), используется программируемая логика или ПЛИС.

Сигнальные процессоры широко применяются в наши дни. Область их применения включает в себя системы радиолокации, системы гидролокации, системы распознавания речи и изображений, анализаторы спектра, для уплотнения каналов передачи данных, кодирования аудио- и видеопотоков.

## 2.2 Структура сигнала радиомаяка

Маячок передает в пространство посредством радиоизлучения свой номер и параметры. Сам сигнал является фазоманипулированным и состоит из 2047 элементов, 511 из которых для синхронизации, а 1536 – полезная информация (рисунок 2.1).

Сигнал формируется в несколько этапов, а именно:

- Манипуляция по фазе M-последовательностью длиной 511 элементов. После этого, первые 511 не меняются, а остальные 1536 модулируются полезной информацией. Полезной информацией является номер маячка и его параметры. Длина информации – 72 бита.
- Кодирование 72 битов полезной информации свёрточным кодом, при этом длина удваивается, и 72 бита становятся 144-мя битами информации.
- Интерливинг или перемежение этих 144 битов – перестановка информационных битов местами. Применяется для борьбы с пачками ошибок. Свёрточный код наиболее к ним чувствителен, поэтому необходимо от них избавиться. То есть, если сигнал принимается с пачкой ошибок в три бита, то на приёмнике, в процессе деинтерливинга эти три бита будут снова перенесены на свои места и одна пачка ошибок превратится в три одиночные.
- Разбиение 144 бит на 24 группы по 6 бит и модуляция каждой группы функцией Уолша. То есть, 24 группы по 6 бит модулируются в 24 группы по 64 бита. 6 бит информации становятся 64-мя битами функции Уолша.



Рисунок 2.1

На приёмной стороне, после того, как сигнал принят, он претерпевает обратные преобразования, для того, чтобы вновь получить последовательность информационных битов:

- Демодуляция псевдослучайной последовательности
- Демодуляция Уолша
- Деинтерливинг
- Свёрточное декодирование

### 2.3 Структура пеленгатора

Пеленгатор располагается на беспилотном летательном аппарате и имеет в своём составе три антенны, настроенные на приём сигналов от маячка, приёмное устройство, которое состоит из усилителя высокой частоты и смесителя. В смесителе происходит перенос спектра сигнала на промежуточную частоту 90 МГц. С выхода смесителя сигнал поступает на аналого-цифровой преобразователь, в котором происходит дискретизация сигнала. Частота отсчётов равна 120 МГц. После аналого-цифрового преобразователя, дискретизированный сигнал приходит на вход квадратурного смесителя, реализованного на программируемой логической интегральной микросхеме (ПЛИС). На выходе ПЛИС – отсчёты комплексной огибающей сигнала. Частота отсчётов равна 20 МГц. Именно отсчёты комплексной огибающей поступают на коррелятор, в котором производится расчёт разности фаз, при помощи вычисления аргумента скалярного произведения комплексных огибающих сигналов.

## 2.4 Реализация коррелятора

Программирование сигнального процессора *TMS320C6455* может производиться на языке *C++* или на ассемблере. Особенность реализации коррелятора на ассемблере напрямую связана с особенностями самого языка. Во-первых, ассемблер является машинно-ориентированным языком. Это означает то, что для каждого семейства процессоров существует свой язык. В то время, как *C++* не является машинно-ориентированным, его можно использовать для программирования любого микропроцессора, поддерживающего *C++*. Во-вторых, обычно одна ассемблерная команда эквивалентна одной команде машинного языка. Несмотря на то, что программирование на ассемблере является более трудоёмким, длительным и требующим повышенную квалификацию программиста процессом, программисту доступны все ресурсы, как процессора, так и системы, что позволяет предлагать более эффективные решения задач, по сравнению с языком *C++*.

Так как пеленгатор располагается на беспилотном летательном аппарате, к нему предъявляются определённые требования по быстродействию и загрузке процессора. Пеленгатор должен выдавать пеленг каждые 10 мс, а сигнальный процессор должен быть загружен максимум на 10%.

Преимущество кодирования на ассемблере было наглядно продемонстрировано на этапе тестирования. Коррелятор вычислял скалярное произведение двух векторов по 4094 отсчёта комплексной огибающей принятого от радиомаяка сигнала. Функция для вычисления скалярного произведения, написанная на языке *C++* потребовала 444263 тактов для успешного выполнения задачи, в то время как тот же алгоритм, реализованный на ассемблере, справился за 96950 тактов. Таким образом, выигрыш коррелятора, реализованного на ассемблере, по времени составил 458%, то есть он работает в 4,5 раза быстрее. А для обработки сигналов в режиме реального времени быстродействие является ключевым фактором. При тактовой частоте процессора 1 ГГц, скалярное произведение было вычислено за 96 мкс, или 0,96 мс. Коррелятор должен считать

три скалярных произведения, поэтому вся работа по вычислению разности фаз будет произведена за  $96 \cdot 3 = 288$  мкс, или 0,288 мс. Таким образом, требование по быстродействию пеленгатора полностью выполняется, при кодировании коррелятора на ассемблере. Загрузка сигнального процессора при вычислении скалярного произведения на ассемблере составляет 2,8% (на C++, для сравнения – 13%), что удовлетворяет требованиям.



## Заключение

В ходе проведения исследования, был разработан коррелятор для фазового пеленгатора радиомаяков. Для его реализации был выбран сигнальный процессор *TMS320C6455*, и алгоритм вычисления разности фаз был написан на языке *C++*. Для пеленгатора были получены требования, в соответствии с которыми, пеленг должен выдаваться раз в 10 мс и загрузка сигнального процессора при расчёте разности фаз не должна превышать 10%. Реализация алгоритма на *C++* не удовлетворяет требованиям по загрузке процессора. Поэтому алгоритм был написан на ассемблере, и предпочтение было отдано ассемблерной реализации коррелятора, с выигрышем по времени на 458%.

**ПРИЛОЖЕНИЕ А**

Реализация коррелятора на языке C++

```
#include "IntMath/Complex.h"

Complex32 MatchC(Complex16 signal[], Complex16 code[], Int length, Int stride){
  Int data, ref, data1, ref1, a;
  Complex32 sum = 0;
  for (Int i = 0; i < length; i+=stride){
    data = signal[i].re;
    ref = code[i].re;
    data1 = signal[i].im;
    ref1 = code[i].im;
    a = data1 * ref + data * ref1;
    sum.re = sum.re + a;
    a = data1 * ref1 - data * ref;
    sum.im = sum.im + a;
  }
  return sum;
}
```

## ПРИЛОЖЕНИЕ Б

Реализация коррелятора на ассемблере

```

.global      _Z7Match16P9Complex16S0_ii

                .global      _Z7Match16P9Complex16S0_ii
_Z7Match16P9Complex16S0_ii:
                .cproc      signal, code, length, stride
                .reg      trip
                .reg      data
                .reg      ref
                .reg      im:re
                .reg      sumIm:sumRe

                zero      sumRe
                zero      sumIm

; -----

loop:           .trip      8
                sub        length, 2, trip
                ldw        *signal++[stride], data
                ldw        *code++[stride], ref
                cmpy       data, ref, im:re
                add        sumRe, re, sumRe
                add        sumIm, im, sumIm

                bdec       loop, trip

; -----

exit:           .return    sumIm:sumRe

                .endproc

```

**ПРИЛОЖЕНИЕ В**

Программа для сравнения быстродействия алгоритмов

```
#include <xdc/std.h>
#include "Bios/Bios.h"
#include "IntMath/Complex.h"
#include "MatchC.h"

Complex16 signal[4094];
Complex16 code[4094];
Complex32 Match16(Complex16 signal[], Complex16 code[], Int length, Int stride);
Complex32 MatchC(Complex16 signal[], Complex16 code[], Int length, Int stride);

Int main(){
for (Int r = 0; r < 4094; r+=2){
    signal[r] = Complex16(0,1);
    code[r] = Complex16(1,1);
};
for (Int r = 1; r < 4094; r+=2){
    signal[r] = Complex16(1,1);
    code[r] = Complex16(1,1);
};
Int length = 4094;
Int stride = 1;
Complex32 result = Match16(signal, code, length, stride);
std::cout << "Assembler result" << std::endl;
std::cout << result << std::endl;
std::cout << " C++ result" << std::endl;
for (Int r = 0; r < 4094; r+=2){
    signal[r] = Complex16(0,1);
    code[r] = Complex16(1,1);
};
for (Int r = 1; r < 4094; r+=2){
    signal[r] = Complex16(1,1);
    code[r] = Complex16(1,1);
};
Complex32 result1 = MatchC(signal, code, length, stride);
std::cout << result1 << std::endl;
return 0;
}
```

**СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

- 1 Сергиенко А.Б. Цифровая обработка сигналов: учеб. пособие. – 3-е изд. – СПб.: БХВ-Петербург, 2011. – 768 с.: ил. – (Учебная литература для вузов).
- 2 Цикин И.А. Свойства сигналов, используемых в радиосистемах: учеб. пособие. – Л.: ЛПИ имени М.И. Калинина, 1980. – 67 с.: ил.
- 3 Кукес И.С., Старик М.Е. Основы радиопеленгации. М.: Издательство «Советское радио», 1964. – 640 с.:ил.
- 4 Скляр Бернард. Цифровая связь. Теоретические основы и практическое применение. Изд. 2-е, испр. : Пер. с англ. – М.: Издательский дом «Вильямс», 2003. – 1104 с.: ил. – Парал. тит. англ.
- 5 Документация по ЦСП TMS320C6455 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [www.ti.com/product/tms320c6455](http://www.ti.com/product/tms320c6455).
- 6 Лайонс Ричард. Цифровая обработка сигналов: Второе издание. Пер. с англ. – М.: ООО «Бином-Пресс», 2006. – 656 с.: ил.
- 7 Пономарёв Л. И., Васин А. А. Высокоточная пеленгация многолучевых сигналов с использованием малоэлементных антенных решеток коротковолнового диапазона// Радиотехника и электроника – 2011. – Том 56, № 3. – С. 330–345.
- 8 Цифровой сигнальный процессор: Википедия – сводная энциклопедия [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [ru.wikipedia.org/wiki/Цифровой\\_сигнальный\\_процессор](http://ru.wikipedia.org/wiki/Цифровой_сигнальный_процессор).
- 9 Кондауров М.Н., Суханов Д.П. Цифровые сигнальные процессоры: Методическое пособие к практикуму / Новосиб. гос. ун-т. Новосибирск, 2010, 48 с.
- 10 Профилирование: Википедия – сводная энциклопедия [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [ru.wikipedia.org/wiki/Профилирование\\_\(информатика\)](http://ru.wikipedia.org/wiki/Профилирование_(информатика)).

- 11 Чекушкин В.В., Булкин В.В. Вычислительные процессы в информационно-измерительных системах: учебное пособие. Муром: Изд. – полиграфический центр МИ ВлГУ, 2009. 120 с.
- 12 Евдокимов О. Ю., Евдокимов Ю. Ф. Оценка точности частотно-фазового метода определения местоположения источников излучения// Известия Южного федерального университета. Технические науки – 2001. – Том 21, № 3. – С. 28–35.