

УДК 681.518.3

© И. В. Щербань, М. А. Аллес, Д. С. Конев

ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫЙ МОДУЛЬ ДЛЯ ИНТЕГРИРОВАННОЙ НАВИГАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ ПОДВИЖНОГО ОБЪЕКТА

Рассматривается специализированный вычислительный модуль, предназначенный для использования в составе интегрированной навигационной системы (НС) подвижного объекта. Модуль выполняет преобразование сигналов измерителей (датчиков) НС в цифровые значения, эквивалентные линейным или угловым координатам подвижного объекта. Реализации модуля предполагается на основе оптической элементной базы, что обеспечивает его высокую производительность.

Кл. сл.: навигационная система, когерентное излучение, двумерное преобразование Фурье, линейный фотоприемник

ВВЕДЕНИЕ

Навигационные системы предназначены для автоматического определения координат подвижных объектов (ПО), их скорости относительно Земли и угловой ориентации. Развитие современной техники и стремление к наиболее эффективному ее использованию предъявляют повышенные требования к точности навигационных определений ПО. Достижение такой точности обеспечивается посредством одновременного использования в составе интегрированной навигационной системы ПО систем, работающих с сигналами различной физической природы (инерциальных, радиолокационных, спутниковых и т. п.) [1]. Известно, что подобное комплексирование обуславливает существенное увеличение сложности и вычислительной емкости навигационных алгоритмов, выполняемых в реальном времени управлением движением объектов [1–3].

В современных навигационных алгоритмах оперируют с многомерными системами дифференциальных уравнений, интегральными и интегро-дифференциальными уравнениями, часто необходимо решение дополнительных специфических сложных вычислительных задач [4]. Требуемая вычислительная производительность бортовых комплексов, особенно высокоскоростных ПО, может обеспечиваться за счет распараллеливания процессов вычислений и использования в их составе нескольких специализированных вычислительных модулей, построенных, например, на основе оптических технологий [5].

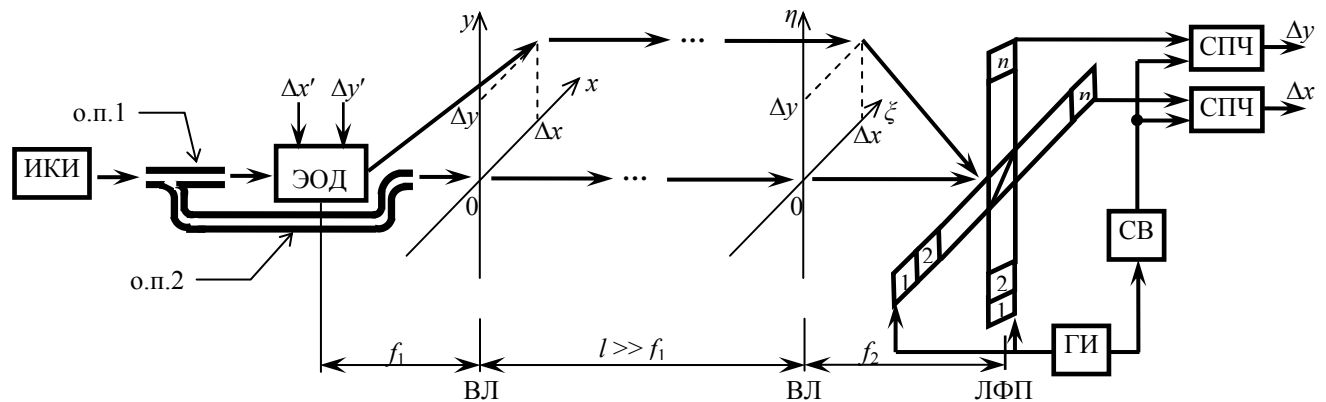
Рассматривается вычислительный модуль, который может использоваться в составе интегрированной НС для вычисления линейных или угловых

координат ПО. На его информационные входы подаются электрические сигналы первичных измерительных преобразователей НС — акселерометров, гироскопов и т. п. датчиков. Результатом вычислений являются эквивалентные смещения оптических потоков относительно выбранной системы координат. Так как модуль реализуется на элементной базе, позволяющей манипулировать с потоками оптического излучения, то это обеспечивает его высокую производительность — около 10^9 тактов решения задачи преобразования в секунду, что соответственно позволяет использовать его в НС даже высокоскоростных ПО.

СХЕМОТЕХНИЧЕСКАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ МОДУЛЯ

Функциональная схема вычислительного модуля представлена на рисунке, где введены следующие обозначения: ИКИ — источник когерентного излучения; ЭОД — электрооптический дефлектор [6]; ВЛ — две выпуклые линзы с фокусными расстояниями f_1 и f_2 ; ЛФП — линейные фотоприемники; ГИ — генератор импульсов; СВ и СПЧ — счетчики соответственно времени и пространственной частоты.

В модуле также используется оптический Y-разветвитель [5], разделяющий когерентный узконаправленный поток когерентного излучения на два потока, подаваемые одновременно на дефлектор и первую (по ходу луча) линзу. Выпуклые линзы предназначены для коллимирования падающих оптических потоков и двумерного преобразования Фурье этих потоков. В электрооптическом дефлекторе, находящемся в фокальной плоскости первой линзы, осуществляется простран-



Функциональная схема вычислителя.

ИКИ — источник когерентного излучения; ЭОД — электрооптический дефлектор; ВЛ — выпуклая линза; ЛФП — линейный фотоприемник; ГИ — генератор импульсов; СВ — счетчик времени; СПЧ — счетчик пространственной частоты; о.п.1, о.п.2 — оптические потоки

венное отклонение входного оптического потока по двум осям x и y .

Линейные фотоприемники располагаются в фокальной плоскости второй линзы. Оба фотоприемника состоят из линеек n -точечных фотоприемников, расположенных ортогонально друг другу и построенных на основе приборов с зарядовой связью [5].

Информационными входами вычислителя являются входы дефлектора, куда подаются электрические сигналы с датчиков навигационной системы, пропорциональные координатным отклонениям ПО $\Delta x'$ и $\Delta y'$.

Оптической осью модуля считается ось, совпадающая с излучением ИКИ и с оптическими осями обеих линз. Введены двумерные системы координат $0xy$ и $0\xi\eta$, ортогональные оптической оси модуля, оси которых $0x$, 0ξ и $0y$, 0η коллинеарны линейкам соответствующих фотоприемников (рисунков).

РАБОТА МОДУЛЯ

Принцип работы оптического вычислителя основан на преобразовании входных электрических сигналов $\Delta x'$ и $\Delta y'$ в эквивалентные смещения оптического потока Δx и Δy , формируемые на его выходе в реальном времени движения ПО.

Пусть на выходе ИКИ оптический поток когерентного излучения имеет амплитуду, равную 2 усл. ед. Тогда на выходах Y-разветвителя оптические потоки, обозначенные на рисунке как о.п.1 и о.п.2, имеют амплитуды, равные 1 усл. ед. каждый. Оба оптических потока поступают на вход выпуклой линзы, но первый поток проходит через

оптический дефлектор. Тогда при поступлении на информационные входы дефлектора координатных сигналов $\Delta x'$ и $\Delta y'$ от датчиков НС этот оптический поток поступит на линзу с эквивалентными линейными смещениями Δx и Δy относительно ее оптической оси, причем

$$\Delta x = K_x \Delta x'; \quad \Delta y = K_y \Delta y',$$

где K_x и K_y — масштабные коэффициенты электрооптического дефлектора.

Второй оптический поток поступит на вход линзы по ее оптической оси, и, таким образом, здесь $x = y = 0$.

Так как ЭОД находится в фокусе линзы, то образуемые на ее выходе оптические потоки, параллельные оптической оси модуля, смещены относительно друг друга. Оптический поток о.п.1 совмещен с оптической осью модуля, а второй поток — смещен на величины Δx и Δy относительно центрального оси.

В результате в фокальной плоскости второй выпуклой линзы формируются два изображения двумерного преобразования Фурье — $U_1(\xi, \eta)$ и $U_2(\xi, \eta)$, причем

$$U_1(\xi, \eta) = U_2(\xi, \eta) \exp\{-j\pi(\xi \Delta x + \eta \Delta y)\}, \quad (1)$$

где пространственные частоты ξ и η определяются из выражений:

$$\xi = \frac{\Delta x}{\pi f_2}; \quad \eta = \frac{\Delta y}{\pi f_2}.$$

Тогда на поверхностях обоих линейных фотоприемников возникает интерференционная картина с интенсивностью

$$I = |U_2(\xi, \eta)|^2 + |U_2(\xi, \eta)|^2 + 2U_2(\xi, \eta) \cdot U_2(\xi, \eta) \cos(\Delta\phi), \quad (2)$$

где $\Delta\phi$ — разность фаз интерферирующих волн, определяемая из (1):

$$\Delta\phi = \xi \Delta x + \eta \Delta y. \quad (3)$$

Согласно (2) и (3), интенсивность интерференционной картины в фокальной плоскости f_2 удовлетворяет равенству

$$I = 2|U_2(\xi, \eta)|^2 (1 + \cos(\xi \Delta x + \eta \Delta y)).$$

Так как распределение интенсивности светового пятна сфокусированного лазерного потока в плоскости Oxy может быть достаточно точно аппроксимировано гауссовской функцией $A \cdot \exp[-(ax^2 + by^2)]$, распределение интенсивности светового пятна фурье-образа второго оптического потока в плоскости $O\xi\eta$ равно

$$U_2(\xi, \eta) = A(2a)^{-0.5} (2b)^{-0.5} \times \exp\left\{-\left[(4a)^{-1} \xi^2 + (4b)^{-1} \eta^2\right]\right\}.$$

Следовательно, при достаточно точной фокусировке лазерного потока в плоскости Oxy распределение интенсивности $U_2(\xi, \eta)$ будет стремиться к равномерному, слабо влияя на распределение максимумов в интерференционной картине. Степень этой равномерности (или степень расфокусировки) определяет необходимое количество n фоточувствительных приборов с зарядовой связью (ФПЗС) в фотоприемнике.

Тогда на входах ФПЗС первого приемника, линейно распределенных вдоль оси $O\xi$, где $\eta = 0$, формируется оптический поток с интенсивностью

$$I_1 = 2|U_2(\xi, \eta)|^2 (1 + \cos(\xi \Delta x)).$$

На входах ФПЗС второго фотоприемника, линейно распределенных вдоль оси $O\eta$, где $\xi = 0$, формируется оптический поток с интенсивностью

$$I_2 = 2|U_2(\xi, \eta)|^2 (1 + \cos(\eta \Delta y)).$$

Импульсы генератора ГИ подаются на синхровходы обоих фотоприемников, за счет чего осуществляется тактовый сдвиг информации в ФПЗС и ее считывание в соответствующие счетчики пространственной частоты. Для отсчета заданного временного интервала T те же импульсы ГИ одновременно подаются и на счетный вход счетчика времени. В СПЧ осуществляется подсчет максимумов N_x и N_y интенсивностей I_1 и I_2 интерференционной картины.

Временной интервал T задается таким образом, чтобы обеспечивался опрос всех ФПЗС фотоприемников.

Дальнейшее вычисление пространственных координат Δx и Δy на основе полученных N_x и N_y осуществляется по соотношениям

$$\Delta x = 2\pi \lambda f_2 F_\xi; \quad \Delta y = 2\pi \lambda f_2 F_\eta, \quad (4)$$

где λ — длина волны когерентного излучения, а частоты пространственных гармоник F_ξ, F_η по осям ξ и η соответственно определяются при этом из равенств

$$F_\xi = \frac{N_x}{T}; \quad F_\eta = \frac{N_y}{T}.$$

Быстродействие оптического вычислителя определяется динамическими характеристиками электрооптического дефлектора, фотоприемников на основе приборов с зарядовой связью и счетчиков. Известно, что ФПЗС имеют частоту среза 10^9 Гц, а электрооптический дефлектор — 10^8 – 10^{10} Гц. Время задержки генератора импульсов и счетчиков, которые могут быть выполнены в интегральном исполнении, составляет 10^{-9} с. Подобное быстродействие обеспечивает возможность использования представленного вычислительного модуля координатной информации в НС даже высокоскоростных ПО.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Аналогичный рассмотренному вычислительный модуль также может быть построен на основе матричного фотоприемника, реализуемого на приборах с зарядовой связью [5]. Однако очевидным недостатком такого решения является тот факт, что для определения местонахождения оптического пятна на матричном фотоприемнике необходимо произвести сканирование всех элементарных фотоприемников, найти максимальное значение и указать адрес этого элементарного фотоприемника в матрице. Такой подход обуславливает существенное снижение быстродействия вычислителя. Разработанный же модуль обеспечивает производительность около 10^9 тактов решения задачи преобразования координатной информации в секунду и может использоваться в интегрированных НС высокоскоростных ПО.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Управление и наведение беспилотных маневренных летательных аппаратов на основе современных информационных технологий / Под ред. М.Н. Красильщикова и Г.Г. Себрякова М.: Физматлит, 2003. 280 с.

2. ГЛОНАСС. Принципы построения и функционирования / Под ред. А.И. Перова, В.Н. Харисова. М.: Радиотехника, 2010. 800 с.
3. Антонов Д.А. Малогабаритная комплексная система навигации и ориентации // Санкт-Петербургская международная конф. по интегрированным навигационным системам. СПб.: ГНЦ РФ ЦНИИ "Электронприбор", 2007. 329 с.
4. Щербань И.В. Решение в реальном времени задачи субоптимальной идентификации модели динамического объекта // Изв. РАН. Теория и системы управления. 2005. № 2. С. 37–42.
5. Акаев А.А. Оптические методы обработки информации / Под ред. А.А. Акаева, С.А. Майорова. М.: Высшая школа, 1988. 236 с.
6. Гриб Б.Н., Кондиленко И.И., Коротков П.А., Цяцценко Ю.П. Электрооптические дефлекторы света. Киев: Техніка, 1980. 208с.

**Южный федеральный университет,
г. Ростов-на-Дону**

Контакты: Щербань Игорь Васильевич,
shcheri@mail.ru

Материал поступил в редакцию 3.12.2012

THE COMPUTATIONAL MODULE FOR VEHICLE INTEGRATED NAVIGATION SYSTEM

I. V. Shcherban', M. A. Alles, D. S. Konev

Southern Federal University, Rostov-on-Don

The specialized computational module for vehicle integrated navigation system is considered. The module is based on the optical components and, therefore, has high computing performance. It permits conversion of the navigation sensors signals in the numerical values of the equivalent vehicle linear or angular coordinates.

Keywords: navigation system, coherent radiation, two-dimensional Fourier transform, linear photodetector