

Исследование системы технического зрения мобильных роботов

Technical vision research mobile robots

Акименко Т.А.

ФГБОУ ВО «Тульский государственный университет»

e-mail: tantan72@mail.ru

Akimenko T.A.

Tula State University

e-mail: tantan72@mail.ru

Ларкин Е.В.

ФГБОУ ВО «Тульский государственный университет»

e-mail: elarkin@mail.ru

Larkin E.V.

Tula State University

e-mail: elarkin@mail.ru

Аннотация

Для аналитического описания процессов в системе технического зрения мобильных роботов используются математические модели сигналов, которые рассматриваются как функции некоторого аргумента. Представлены ограничения для области определения и область значений функции. Показано, что применение частотных моделей сигналов позволяет существенно упростить задачу исследования систем технического зрения мобильных роботов.

Ключевые слова: системы технического зрения, мобильный робот, фоточувствительные приборы с зарядовой связью, сигнал.

Abstract

For an analytical description of the processes in the technical vision system of mobile robots, mathematical models of signals are used, which are considered as functions of a certain argument. The restrictions for the domain of definition and the domain of function values are presented. It is shown that the use of frequency models of signals can significantly simplify the task of studying the technical vision systems of mobile robots.

Keywords: vision systems, mobile robot, charge sensitive photosensitive devices, signal.

В различных областях человеческой деятельности, таких, как промышленность, антитеррористическая деятельность, ликвидация последствий техногенных аварий и природных катастроф, военное дело и т.п. в настоящее время широко используются мобильные роботы (МР). Типовой мобильный робот представляет собой дистанционно управляемое или функционирующее по программе транспортное средство (наземное, воздушное, надводное, подводное), несущее на себе оборудование для сбора информации об окружающей среде и воздействия на окружающую среду. Сложность выполняемых задач предполагает сложность структуры технических средств и системы управления бортовым оборудованием мобильных роботов. Наибольший объем информации, как правило, содержится в видеосигнале [1, 2, 6], что предполагает оснащение МР системами технического

зрения (СТЗ), а также хранения / передачи изображений для дальнейшего использования по назначению.

Любая информационно-измерительная система как объект исследования представляет собой преобразователь сигналов, поэтому для аналитического описания процессов в системе технического зрения мобильных роботов (СТЗ МР) использованы математические модели сигналов, которые рассматриваются как функции некоторого аргумента. Аргументом в данном случае являются векторы пространственных координат (x, y, z) , (Y, Z) , угловые координаты $(\vartheta, \gamma, \psi)$ или время t , а функциями – аналитические зависимости, описывающие движение МР, проецирование объективом изображения сцены на фоточувствительные приборы с зарядовой связью (ФПЗС) и накопление зарядов в ФПЗС.

Характеристики информационно-измерительных систем, как преобразователей информации, определяются множеством значений аргумента (областью определения функции) и множеством значений, которые принимают сигналы при тех или иных значениях аргументов (область значений функции). В СТЗ, как область определения, так и область значений функции являются ограниченными. Область определения ограничена:

- для пространственного сигнала $\Phi(x, y, z, \lambda, t)$ – угловыми размерами поля зрения объектива;
- для сигнала $B(Y, Z)$ – площадью фоточувствительного прибора с зарядовой связью;
- для сигнала $q_{mn}(t)$ – временем накопления зарядов в ячейке.

Область значений также ограничена:

- для пространственного сигнала $\Phi(x, y, z, \lambda, t)$ – сверху – условиями освещения, снизу – отражательной способностью объектов сцены;
- для сигнала $B(Y, Z)$ – характеристиками оптической системы;
- для сигнала $q_{mn}(t)$ – характеристиками ФПЗС, в частности, величиной темнового заряда на выходе фоточувствительного элемента и величиной насыщения, после которого начинается блуминг – неуправляемое растекание заряда в ФПЗС.

Сигналы на всех этапах прохождения в СТЗ могут считаться непрерывными. В процессе преобразований непрерывного сигнала с выхода ФПЗС, в частности при его дискретизации и квантовании по уровню из него формируется цифровой сигнал вида ФЦМИ.

Исследование информационно-измерительной системы сводится к сравнению сигналов системы с некоторым эталоном [3, 4]. В качестве критерия сравнения применяется мера, имеющая физический смысл квадрата евклидова расстояния:

- для двумерных сигналов:

$$\varepsilon(\tilde{v}, v) = \int_{z \min}^{z \max} \int_{y \min}^{y \max} [\tilde{v}(y, z) - v(y, z)]^2 dy dz \quad (1);$$

- для одномерных сигналов:

$$\varepsilon(\tilde{v}, v) = \int_{t \min}^{t \max} [\tilde{v}(t) - v(t)]^2 dt \quad (2),$$

где $v(y, z)$ – функция пространственных координат, формируемые реальной системой; $\tilde{v}(y, z)$ – идеальная функция пространственных координат; $v(t)$ – функция времени, формируемая реальной системой; $\tilde{v}(t)$ – идеальная функция времени.

Сигнал может быть исследован как в сигнальной области, так и в области (пространственных) частот. К достоинствам частотных моделей сигнала относится то, что при использовании их для оценки качества изображения, в частности, разрешающей способности спектральные составляющие не зависят от локализации (y, z) , или t характерных участков на пространственной функции $v(y, z)$, или $v(t)$ а зависят только от характера поведения функции на этом участке.

В качестве ядра преобразования чаще всего используется преобразование Фурье [2, 3, 4, 5], которое имеет вид

- для двумерной функции:

$$I(\omega_y, \omega_z) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} u(y, z) \exp[-j(y\omega_y + z\omega_z)] dy dz \quad (3);$$

- для одномерной функции:

$$I(\omega) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{\infty} u(t) \exp(-j\omega t) dt \quad (4),$$

где $j = \sqrt{-1}$ – мнимая единица; ω_y, ω_z – круговые частоты пространственного гармонического сигнала; ω – круговая частота временного гармонического сигнала; $(2\pi)^{-1}, (2\pi)^{-1/2}$ – выравнивающие коэффициенты.

Обратное преобразование Фурье, позволяющее переходить из спектральной области в сигнальную, имеет вид:

- для двумерной функции:

$$u(y, z) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} I(\omega_y, \omega_z) \exp j(y\omega_y + z\omega_z) d\omega_y d\omega_z \quad (5);$$

- для одномерной функции:

$$u(t) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{\infty} I(\omega) \exp(-j\omega t) d\omega \quad (6).$$

Применение частотных моделей сигналов позволяет при исследованиях СТЗ МР:

- заменить вычисление интегралов свертки

$$u_3(y, z) = \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} u_1[(y - \xi_y), (z - \xi_z)] u_2[(\xi_y), (\xi_z)] d\xi_y d\xi_z \quad (7),$$

$$u_3(t) = \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} u_1(t - \tau) u_2(\tau) d\tau \quad (8);$$

- произведением спектральных характеристик

$$I_3(\omega_y, \omega_z) = I_1(\omega_y, \omega_z) \cdot I_2(\omega_y, \omega_z) \quad (9),$$

$$I_3(\omega) = I_1(\omega) \cdot I_2(\omega) \quad (10);$$

- применить для решения дифференциальных уравнений, описывающих движение МР, а также процесс накопления зарядов в ячейках ФПЗС единую методику, основанную на задаче Коши;

- применить для анализа пространственных и временных динамических систем единый аппарат передаточных функций.

Все это существенно упрощает задачу исследования СТЗ МР.

При исследовании воздействия дороги корреляционные функции $K_{\uparrow}(\tau)$ и $K_{\leftrightarrow}(\tau)$ могут также быть представлены в виде энергетических спектров

$$S_{\uparrow(\leftrightarrow)}(\omega) = \int_{-\infty}^{\infty} K_{\uparrow(\leftrightarrow)}(\tau) \exp(-j\omega\tau) d\tau \quad (11).$$

В этом случае для исследования механических систем также может быть применен аппарат передаточных функций.

В соответствии с теоремой о масштабировании, спектральные плотности воздействия дороги на МР зависят от его скорости. При ее увеличении спектральная плотность воздействия расширяется.

Литература

1. *Абузова И.В., Игнатьев В.М., Ларкин Е.В.* Сканирующие системы с повышенным разрешением. – Тула: ТулГУ, 1996. – 88 с.
2. *Даджион Д., Мерсеро Р.* Цифровая обработка многомерных сигналов. – М.: Мир, 1988. – 488 с.
3. Математические модели, динамические характеристики и анализ систем автоматического управления. Т. 1. Методы классической и современной теории автоматического управления/ Ред. К.А. Пупков и Н.Д. Егупов. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э.Баумана, 2004. – 656 с.
4. Bracewell R.N. The Fourier Transform and Its Applications. - N.Y. - McGraw-Hill, 2000. - 604 p.
5. *Ларкин Е.В., Акименко Т.А., Лучанский О.А.* Моделирование движения автономных колесных транспортных средств: Монография. Тула: Изд-во ТулГУ, 2011. – 160 с.
6. *Акименко Т.А., Аршакян А.А., Ларкин Е.В.* Управление информационными процессами в робототехнических комплексах специального назначения. – Тула: Изд-во ТулГУ, 2012. – 150 с.