

вительном волокне. Величина ослабления пропорциональна поглощенной дозе. В устройство входит оптический рефлектометр, который строит распределение величины затухания оптического сигнала вдоль радиационно-чувствительного волокна, что позволяет определить пространственное распределение дозы ионизирующего излучения.

В работах [6–9] исследуется влияние ионизирующего излучения на оптические свойства волноводов. В работе [6] рассмотрено воздействие ионизирующего излучения на наборный оптический волновод на основе кремния с подложкой из двуокиси кремния. Вблизи и на границе раздела волновод / подложка под воздействием ионизирующего излучения накапливаются свободные носители заряда, что сопровождается генерацией свободных состояний. В результате увеличиваются потери оптического сигнала в волноводе.

В работах [7–9] показано, что под воздействием ионизирующего излучения увеличивается показатель преломления материала волновода в составе микрокольцевого резонатора. Это приводит к смещению резонансной длины волны резонатора пропорционально поглощенной дозе. Наибольшее смещение достигается в резонаторах на основе кремниевых волноводов с покрытием из этилен-пропиленового полимера. Данный эффект может быть использован в качестве основы для волноводных оптических дозиметров с высокой чувствительностью.

Литература

1. Embedded structure fiber-optic radiation dosimeter for radiotherapy applications / Q. Zhuang [et al.] // Optics Express. – 2016. – Vol. 24, № 5. – P. 5172–5185.
2. Miniaturized fiber dosimeter of medical ionizing radiations on a narrow optical fiber / M.A. Suarez [et al.] // Optics Express. – 2019. – Vol. 27, № 24. – P. 35588–35599.
3. Tapered fiber radiation sensor based on Ce/Tb:YAG crystals for remote γ -ray dosimetry / M. Jia [et al.] // Optics Express. – 2021. – Vol. 29, № 2. – P. 1210–1220.
4. Новиков, С. Г. Оптоволоконная дозиметрическая система на базе сцинтилляционного оптического волокна / С. Г. Новиков, А. А. Черторийский, А. В. Беринцев // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. – 2013. – Т. 15, № 4. – С. 1017–1023.
5. Томашук, А. Л. Волоконно-оптические дозиметры / А. Л. Томашук // Фотон-Экспресс. – 2005. – № 7. – С. 53–55.
6. Boynton, N. Gamma radiation effects on passive silicon photonic waveguides using phase sensitive methods / N. Boynton [et al.] // Optics Express. – 2020. – Vol. 28, № 23. – P. 35192–35201.
7. Total ionizing dose effects on silicon ring resonators / S. Bhandaru [et al.] // IEEE Transactions on nuclear science. – 2015. – Vol. 62, № 1. – P. 323–328.
8. Gamma radiation effects on silicon photonic waveguides / S. Grillanda [et al.] // Optics Letters. – 2016. – Vol. 41, № 13. – P. 3053–3056.
9. Gamma radiation effects in amorphous silicon and silicon nitride photonic devices / Q. Du [et al.] // Optics Letters. – 2017. – Vol. 42, № 3. – P. 587–590.

УДК 004.021

КОМПЛЕКСИРОВАНИЕ ИНФОРМАЦИИ ОТ НЕСКОЛЬКИХ ИСТОЧНИКОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ НЕЧЕТКОЙ ЛОГИКИ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ПРОЦЕССА ИЗМЕРЕНИЯ СИГНАЛА

Горин А.В.

*ФГБОУ «Тульский государственный университет»
Тула, Российская Федерация*

Аннотация. В статье рассматривается комплексирование информации от нескольких источников, у которых неодинаковы дисперсии и качество информации, также приводится оценка эффективности предлагаемого метода. Предлагается для повышения точности измерения производить комплексирование в два этапа: на первом этапе обрабатывать информацию с помощью нечеткой логики для подавления зашумленных источников, на втором этапе непосредственно комплексировать сигналы с помощью квази-оптимального алгоритма. В качестве тестовых сигналов использованы гармонические сигналы, представляющие аддитивную смесь полезного сигнала и белого шума.

Ключевые слова: комплексирование, нечеткая логика, точность, помехозащищенность.

SEVERAL SOURCES INFORMATION FUSION BASED ON FUZZY LOGIC FOR INCREASE IN ACCURACE AND NOISE IMMUNITY OF A SIGNAL

Gorin A.

Tula State University
Tula, Russia

Abstract. The article discusses several sources signals information fusion, which have different variances and quality of information, and also provides an assessment of the effectiveness of the proposed method. It is proposed to perform the fusion in two stages to improve the measurement accuracy: at the first stage, process information using fuzzy logic to suppress noisy sources, at the second stage, directly combine the signals using a quasi-optimal algorithm. Harmonic signals representing an additive mixture of the useful signal and white noise were used as test signals.

Key words: integration, fuzzy logic, accuracy, noise immunity.

Адрес для переписки: Горин А.В., пр. Ленина, 95, г. Тула, 300012, Российская Федерация
e-mail: tongornani@mail.ru

В технических системах все чаще находят применение использование нескольких измерительных устройств (ИУ), частично или полностью дублирующих свои функции. Одновременно повышаются требования к качеству поучаемой информации. Поскольку использование более точных ИУ сопряжено с большими финансовыми затратами, имеет смысл искать решение задачи повышения точности в уже существующей структурной избыточности системы [1, 2]. В работе рассматривается повышение точности и помехозащищенности за счет комплексирования сигналов ИУ на основе нечеткой логики.

Общая постановка задачи: ИУ_{*i*} (*i* = $\overline{2, N}$) измеряют параметр или функционально связанные параметры объекта/параметра интереса. Сигналы от ИУ представляют собой смесь полезного сигнала и белого шума:

$$s_i = S + N(\sigma_i, M_i), \quad (1)$$

где *s_i* – сигнал от *i*-го ИУ, *S* – истинный сигнал, *N*(σ_i, M_i) – белый шум.

Обозначим чем через *V* множество сигналов *s_i*, тогда в наиболее общем виде задача формулируется следующим образом: необходимо найти такое преобразование:

$$P = F(V), \quad (2)$$

которое находило бы экстремум функционала *F*(*V*).

Т.к. повышение точности соответствует уменьшению шумовой составляющей в итоговом сигнале, (2) сводится к

$$M[(P - V)^2] \rightarrow \min, \quad (3)$$

где *M* – оператор математического ожидания.

Комплексирование сигналов ИУ основано на интерпретации операции вычисления центра тяжести агрегированного нечеткого множества (рис. 1): по оси абсцисс откладывается параметр, по которому определяется качество сигнала ИУ (например, СКО ошибки), по оси ординат весовой коэффициент, который используется для

подавления сигнала от ИУ в зависимости от зашумленности. Значения параметров по обеим осям нормированы: сумма весовых коэффициентов равна единице, что обеспечивает отсутствие динамической составляющей ошибки. Комплексированный сигнал запишем в виде

$$S = \sum w_i s_i, \quad (4)$$

где *w_i* – весовой коэффициент сигнала *i*-го ИУ.

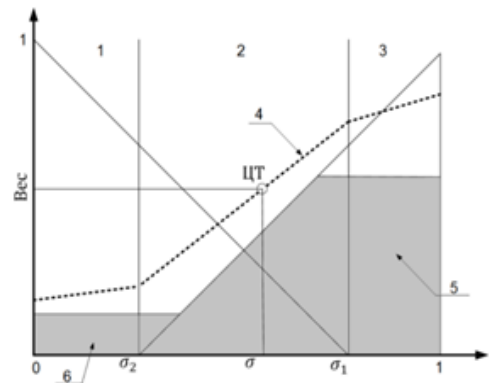


Рисунок 1 – Интерпретация вычисления центра тяжести

На рис. 1 введены следующие обозначения: ЦТ – центр тяжести агрегированного множества; 1, 2 и 3 – режимы работы; 4 – траектория ЦТ; 5 и 6 – площади нечетких множеств перед вычислением ЦТ.

Рассмотрим функционирование алгоритма на примере двух сигналов. Обозначим через σ_1 СКО сигнала 1-го ИУ, через σ_2 – второго ИУ. Нормированное значение можно вычислить как $\sigma = \frac{\sigma_1}{\sigma_1 + \sigma_2}$. Если $\sigma_1 \gg \sigma_2$, то $w_1 \ll w_2$ и наоборот. Если СКО сигналов сопоставимы будет производится их комплексирование в соответствии с (4).

Если в результате взвешивания остается два или более сигналов, можно на втором этапе применить квазиоптимальное комплексирование для этих сигналов при предположении наличия в сигналах белого шума. На втором этапе также решается задача минимизации функционала

$F(V)$, но уже рассматриваемого как сумма линейных форм:

$$F(V) = \sum_{i=1}^N \omega_i (s_i - \sum_{j=1}^N k_{ij} V)^2 \rightarrow \min, \quad (5)$$

где k_{ij} – некоторые коэффициенты в линейной форме.

Решение (5) в матричной форме имеет вид:

$$F(V) = \mathcal{A}^T \mathbb{W} \mathcal{A}, \quad (6)$$

где $\mathcal{A} = \mathcal{S} - \mathcal{K}V$ – вектор невязок; \mathbb{W} – матрица случайных векторов; \mathcal{K} – матрица, составленная из коэффициентов линейных форм; \mathbb{W} – диагональная матрица весов.

Оценку эффективности рассмотрим на примере 2-х гармонических зашумленных сигналов $\sigma_i = A_i \sin(\omega_i t + \varphi_i) + N(\sigma_i, M_i)$ сначала для каждого из этапов по отдельности, затем суммарный выигрыш после двух последовательных обработок.

Пусть амплитуды, СКО и фазы полезного сигнала от 1-го ИУ и от 2-го ИУ равны, математические ожидания шумов равны нулю, а $\sigma_1 = 1, \sigma_2 = 2$.

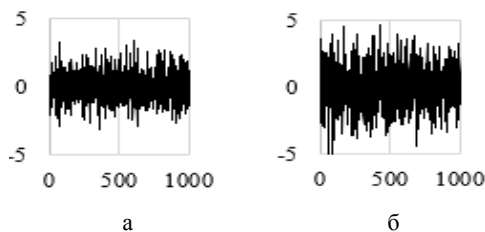


Рисунок 2 – Исходные сигналы при моделировании: *а* – сигнал от 1-го ИУ, *б* – сигнал от 2-го ИУ

Результаты моделирования представлены на рис. 3, *а* (комплексирование на первом этапе), *б* (на втором этапе) и *в* (после двух этапов).

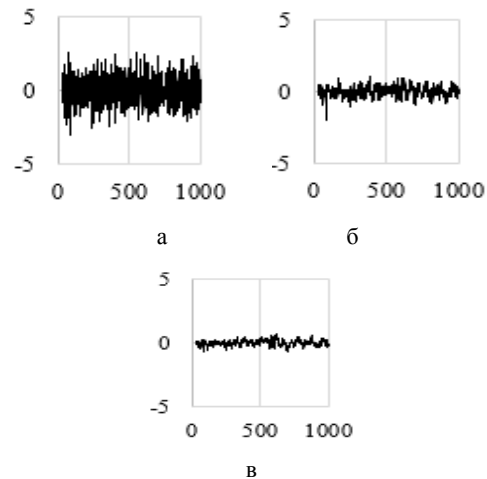


Рисунок 3 – Моделирование комплексирования трех сигналов

Результаты моделирования сведены в табл. 1.

Таблица 1. Результаты моделирования*

Сигнал	ИУ ₁	ИУ ₂	Э ₁	Э ₂	Э ₁ +Э ₂
Уровень	1,00	2,00	0,82	0,36	0,21
СКО					

ИУ_{*i*} – сигнал от ИУ, Э_{*i*} – сигнал после этапа обработки

Литература

- Горин, А. В. Комплексирование координатной информации на основе алгоритмов нечеткой логики / А. В. Горин // Техника XXI века глазами молодых ученых и специалистов: материалы 16 Всероссийской науч.-техн. конф. студентов, магистрантов, аспирантов и молодых ученых. – Тула : Изд-во ТулГУ, 2017. – 345 с.
- Пегат, А. Нечеткое моделирование и управление. – Изд. 2-е / А. Пегат. – М. : БИНОМ. Лаборатория знаний, 2013. – 798 с.

УДК 535-3, 535.314

ПОЛУЧЕНИЕ ИЗОБРАЖЕНИЯ ОБЪЕКТОВ В РЕНТГЕНОВСКИХ ЛУЧАХ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЦИФРОВОЙ 2D-КАМЕРЫ

Дудчик Ю.И., Хилько Г.И., Субач А.А.

НИУ «Институт прикладных физических проблем имени А. Н. Севченко» БГУ
Минск, Республика Беларусь

Аннотация. Рассмотрены особенности применения 2D-рентгеновских камер для реализации методов проекционной микроскопии, контактной микроскопии и стереорентгенографии.

Ключевые слова: Рентгеновское излучение, рентгеновская микроскопия, стереорентгенография.

X-RAY IMAGING OF OBJECTS USING A DIGITAL 2D-CAMERA

Dudchik Yu., Khilko G., Subach A.

A.N. Sevchenko Institute of Applied Physical Problems of BSU
Minsk, Belarus

Abstract. The features of the use of 2-D X-ray cameras for the implementation of the methods of projection microscopy, contact microscopy and stereoradiography are considered.

Key words: X-ray radiation, X-ray microscopy, stereoradiography.

Адрес для переписки: Дудчик Ю.И., Курчатова 7, г. Минск 220045, Республика Беларусь
e-mail: dudchik@bsu.by