

Решение задач цифровой фильтрации в автоматизированных системах на основе световых экранов

А.Ю. Вдовин¹, В.А. Афанасьев¹

¹Ижевский государственный технический университет имени М.Т. Калашикова, Студенческая 7, Ижевск, Россия, 426069

Аннотация

Для автоматизированных систем с использованием световых экранов чрезвычайно актуальны задачи обнаружения и оценки момента прихода импульса. Исследуется возможность совместного решения указанных задач с использованием выборок реальных сигналов, полученных с оптических датчиков при выполнении выстрелов патронами двух типов. Проводится статистическое моделирование на смеси реального шума и эталонного импульса, создаваемого для каждого выстрела по отдельности. Анализ полученных данных показал, что для патронов исследованных типов возможно совместное решение задач гарантированного обнаружения сигнала и повышения точности оценки момента времени прихода импульса (в среднем по выборке выстрелов) с применением методов цифровой фильтрации. При этом целесообразно проведение дополнительных исследований по поиску оптимальной точки импульса, по которой будет определяться момент времени его прихода.

Ключевые слова

световой экран, оптический датчик, момент прихода импульса, цифровой фильтр

1. Введение

Автоматизированные системы с использованием разнообразных оптико-электронных блокирующих устройств широко применяются при испытаниях стрелкового оружия и боеприпасов к нему. К числу таких систем относятся и системы на основе световых экранов.

Принцип действия подобных систем основан на том, что пуля последовательно затеняет световые потоки от линейных излучателей света к фотоприемным устройствам (оптическим датчикам), при этом на выходах датчиков формируются электрические импульсы. При этом по ряду причин (тепловой шум фотодиода, помехи в цепях питания и пр.), сигналы оптических датчиков могут иметь существенные искажения.

2. Выбор цифрового фильтра и определение его параметров

Для автоматизированных систем с использованием световых экранов весьма актуальны задачи обнаружения и оценки момента прихода импульса. Для снижения погрешностей непосредственно в схеме оптического датчика был реализован аналоговый фильтр, но экспериментальные исследования показали, что при питании излучателей от переменного напряжения он не обеспечивает полного подавления помех. Необходим цифровой фильтр, повышающий одновременно точность определения временного положения сигнала и соотношение сигнал-шум до приемлемых значений.

Для реализации был выбран полосовой БИХ-фильтр Баттерворта 1-го порядка. Для компенсации фазового сдвига данные с выхода фильтра, взятые в обратном порядке следования, пропускались через тот же фильтр [3]. Для оценки качества фильтрации были выбраны критерий максимума соотношения сигнал/шум ρ и критерий минимума σ - среднеквадратического отклонения ошибки измерения момента его прихода. Для реальных

сигналов истинная амплитуда и истинное время прихода неизвестно, поэтому в Scilab была создана имитационная модель сигнала. Модель была получена сложением двух составляющих: эталонный шум (реальный шум с датчика, записанный на одном периоде низкочастотного колебания) и эталонный импульс, представляющий собой реальный импульс с датчика, полученный при пересечении пулей светового экрана и сглаженный медианным фильтром с шириной окна 3.

При моделировании в каждом опыте (число опытов $N=3000$) импульс накладывался на случайный участок шума, после чего определялись σ и q , полученные значения усреднялись по серии опытов. Также оценивалось D - среднее значение абсолютных величин разностей между моментами срабатывания, определёнными в выбранной точке на исходном эталонном импульсе и полученной смеси. После фильтрации полученного участка сигнала при помощи созданного фильтра с использованием компенсации фазового сдвига расчеты повторялись. Модели создавались по отдельности для десяти реальных выстрелов для каждого типа патронов.

Нижняя F_l и верхняя F_u частоты среза полосового фильтра варьировались в диапазонах от 1кГц до 2кГц с шагом 500Гц и от 40кГц до 60кГц с шагом 10кГц соответственно. При этом для патронов типа 7,62x39мм для различных выстрелов получено увеличение q в 4-6 раз, а для патронов типа 5,45x39мм – в 5,5-7,5 раз. Таким образом, для любых значений F_l и F_u в рассматриваемых диапазонах имеем приемлемое значение q .

В среднем (при различных комбинациях F_l и F_u) после фильтрации σ уменьшается примерно в 2 раза, при этом минимум σ не всегда соответствует минимуму D . Показано, что при решении заявленной задачи целесообразно использовать критерий минимума D . Для каждого из выстрелов в рассматриваемых диапазонах F_l и F_u могут быть подобраны значения частот среза, обеспечивающие $D \approx 0$, при этом подобранные значения F_l и F_u не всегда одинаковы для различных выстрелов, что может объясняться различиями в угловом положении и координатах пули при пересечении светового экрана [4]. Предлагается компромиссное решение - выбор частот среза, обеспечивающих минимум усредненной по всем выстрелам величины D .

3. Заключение

Таким образом, для патронов исследованных типов возможно совместное решение задач гарантированного обнаружения сигнала и повышения точности оценки момента времени прихода импульса (в среднем по выборке выстрелов) с применением методов цифровой фильтрации. При этом целесообразно проведение дополнительных исследований по поиску оптимальной точки импульса, по которой будет определяться момент времени его прихода.

4. Благодарности

Исследование выполнено при финансовой поддержке ИжГТУ имени М.Т. Калашникова в рамках научного проекта №ВАЮ/20-78-23.

5. Литература

- [1] Вдовин, А.Ю. Современная автоматизированная система для оценки скорости перемещения затвора стрелкового оружия / А.Ю. Вдовин, Е.М. Марков, И.Г. Корнилов // Интеллектуальные системы в производстве. – 2017. – № 3. – С. 82-87. DOI: 10.22213/2410-9304-2017-3-82-87.
- [2] Афанасьев, В.А. Проектирование информационно-измерительных систем на основе световых мишеней для контроля изделий стрелкового оружия по внешнебаллистическим параметрам: монография / В.А. Афанасьев, В.Е. Лялин. – Ижевск: Изд-во ИжГТУ имени М.Т. Калашникова, 2020. – 364 с.
- [3] Хемминг, Р.В. Цифровые фильтры. – М.: Советское радио, 1980. – 224 с.

- [4] Aphanasiev, V.A. Weight functions of light shield and the signal at the input of optical sensor at the intersection of the bullets of light shield / V.A. Aphanasiev, A.U. Vdovin, I.G. Kornilov // Journal of Measurements in Engineering. – 2019. Vol. 7. – P. 74-83. DOI: 10.21595/jme.2019.20441.