International Scientific Conference 20 UNITECH 26

INTERNATIONAL SCIENTIFIC CONFERENCE
19-21 November 2026
GABROVO

РАЗРАБОТКА НА СИСТЕМА ЗА СЪБИРАНЕ НА ВИБРО-АКУСТИЧНИ ДАННИ С ETHERNET ИНТЕРФЕЙС

Димитър Димитров, Стефан Иванов, Валентин Гичев

Технически университет – Габрово, ул. Хаджи Димитър 4, Габрово 5300

DEVELOPMENT OF A SYSTEM FOR ACQUISITION OF VIBRO-ACOUSTIC DATA WITH ETHERNET INTERFACE

Dimitar Dimitrov, Stephan Ivanov, Valentin Gichev

Technical University of Gabrovo, Hadji Dimitar 4, Gabrovo 5300, Bulgaria

Abstract

In modern control and automation technologies, significant attention is being paid to systems for the early detection of impending failures. In this context, the acquisition and analysis of vibration and acoustic data can play an important role in assessing the technical condition of machines and equipment. This paper presents the development of a multi-channel system for the acquisition of vibro-acoustic data, designed to transmit the acquired information via Ethernet to a computer system for subsequent analysis. The architecture of the developed system, the hardware and software tools employed, as well as the implementation of the communication and measurement data transmission are presented.

Keywords: vibro-acoustic data; MEMS microphones; data acquisition; condition monitoring

ВЪВЕДЕНИЕ

В областта на съвременните технологии за автоматизация вибрационните и акустичните данни намират сравнително малка практическа приложимост към настоящия момент. Това важи с особена сила за акустичните данни поради различни причини като възможното наличие на трудно отстраним фонов шум [1], скъпо хардуерно и софтуерно осигуряване, трудности при въвеждане в експлоатация и др. Въпреки това приложимостта им в системите за откриване на експлоатационни аномалии и потенциални аварии е възможна и не бива да бъде подценявана [2, 3].

Съвременните MEMS технологии позволяват изграждането на хардуерни решения, които са с по-добра икономическа ефективност, а подобрените софтуерни възможности могат да редуцират влиянието на фоновия шум и да намалят трудностите при въвеждане в експлоатация.

Ефективността на диагностиката може да бъде увеличена значително при комбинирания анализ на постъпващи вибрационни и акустични данни [4], както и някои цифрови такива, които определят начало или край на дадено събитие в наблюдаваната система.

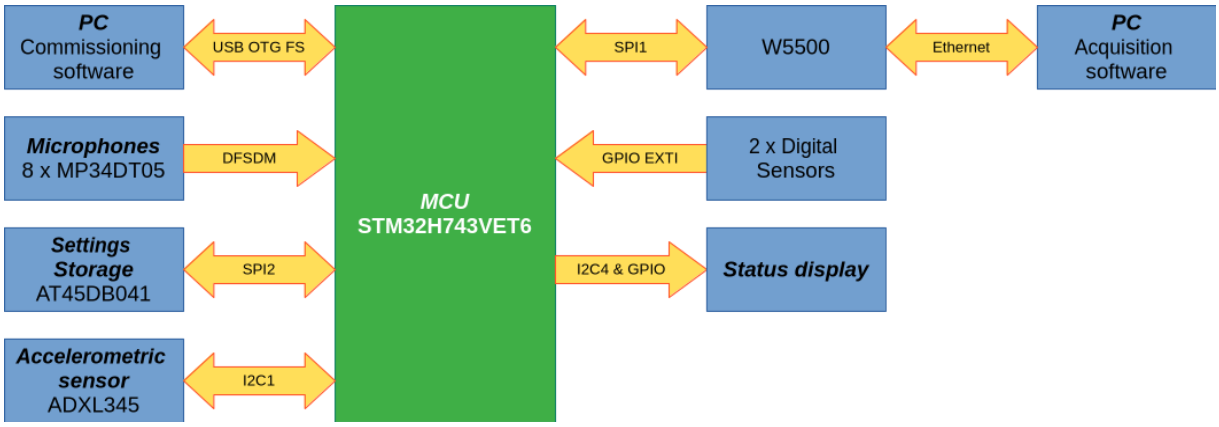
Настоящата статия разглежда разработката на устройство, базирано на микроконтролер STM32H743VET6 на фирмата STMicroelectronics, което събира данни от масив от MEMS микрофони MP34DT05 на същия производител и акселерометричен сензор ADXL345 и ги предава по Ethernet за последваща обработка. Допълнително системата е оборудвана с два цифрови входа за свързване на цифрови сензори.

Print ISSN: 1313-230X, Online ISSN: 3033-1404

ИЗЛОЖЕНИЕ

Хардуерно осигуряване

Функционална схема на устройството е показана на фигура 1. Информацията от микрофоните постъпва към микроконтролера по периферен модул за цифрова филтрация за сигма-делта модулация (Digital Filter for Sigma-Delta Modulation – DFSDM). Чрез него се осъществява синхронизираното приемане на PDM данните от осемте микрофона, като два микрофона споделят един канал посредством работа на противоположни фронтове на тактовия сигнал. Настройките на DFSDM са избрани така, че след децимацията да се получи поток от аудио семпли с честота приблизително 44,1 kHz, което улеснява последващата обработка и анализ на данни от стандартен аудио софтуер. Физическото разположение на микрофоните е 7 микрофона в мрежа, насочена към изследвания обект и 1 микрофон в обратна посока, имащ за цел да предостави референтна информация за фоновия шум.



***Фиг. 1**. Функционална схема на разработеното устройство*

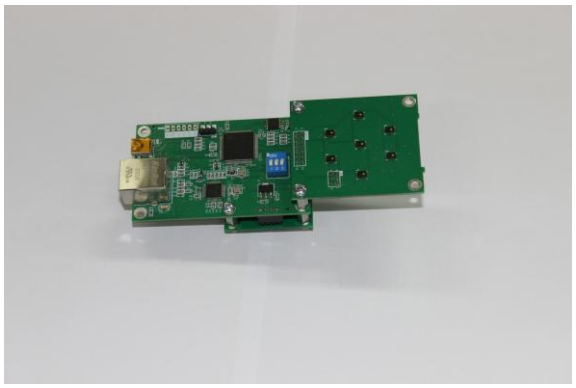
Информацията от акселерометричния сензор постъпва в микроконтролера по I^2C интерфейс. Два оптоизолирани входа позволяват събиране на цифрови данни, което да даде допълнителни възможности за анализ.

Събраните данни се подават от микроконтролера към Ethernet комуникационен контролер W5500 по SPI интерфейс, който изпраща данните към компютър или друго устройство за запис, обработка и анализ на събраната информация.

Допълнително устройството е снабдено с флаш памет AT45DB041 за съхранение на настройки и USB интерфейс за тяхната промяна. За целите на конфигурирането на устройството е разработено отделно софтуерно приложение.

Устройството разполага с OLED дисплей и 4 LED диода, чрез които може да се наблюдава оперативното му състояние.

Изглед на разработената платка е представен на фигура 2.



***Фиг. 2**. Изглед на печатната платка*

Изглед на завършеното устройство е представен на фигура 3.



***Фиг. 3**. Изглед на разработеното устройство*

Софтуерно осигуряване

В разработката на фирмуера на устройството е използвана операционна система в реално време FreeRTOS, в която са реализирани три основни софтуерни задачи:

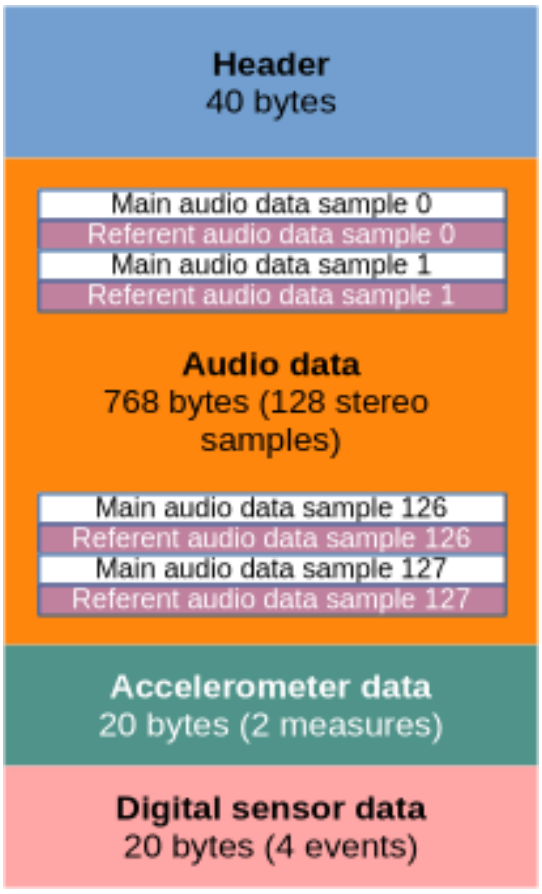
- Задача за подготовка на аудио данните – извлича данните от DMA буфера на DFSDM, извършва предварителна обработка и записва резултатите в комуникационния буфер.
- Задача за събиране на вибрационни и цифрови данни – събира данните от акселерометричния и цифровите сензори и ги записва в комуникационния буфер.
- Комуникационна задача – при запълване на комуникационния буфер изпраща данните по Ethernet.

Освен трите основни задачи е реализирана и задача за обслужване на комуникацията по USB при четене и промяна на настройките.

Синхронизацията между задачите се осъществява чрез флагове на задачите (Thread Flags), предоставени от FreeRTOS, чрез които се сигнализират настъпили събития и необходимостта от изпълнение на определени операции.

Формат на предаваните данни

Форматът на кадъра, предаван от устройството, е представен на фигура 4.



***Фиг. 4**. Формат на кадъра на предаваните данни*

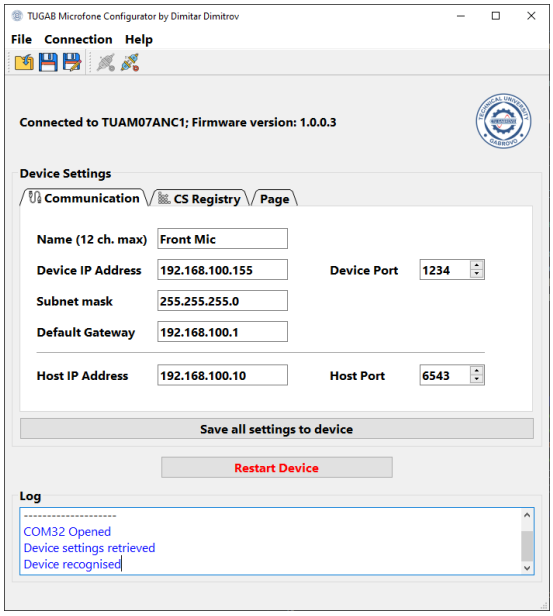
Всеки кадър започва с 40-байтов хедър, който съдържа различна служебна и диагностична информация. Хедърът е последван от 768 байта (2 по 128 сампъла) аудио данни, съдържащи миксирания сигнал (сумата) от основните седем микрофона и сигнала от осмия референтен микрофон, подредени като стерео сигнал. Следват 20 байта данни от акселерометричния сензор, които съдържат до две измервания. Данните за всяко измерване са подредени както следва:

- 4 байта време в милисекунди от началото на измервателната сесия;
- по 2 байта информация за изменението стойностите по осите (x, y, z) – общо 6 байта.

Следват 20 байта (4 събития) от цифровите сензори. Всяко събитие се състои от 5 байта, в които са записани 4 байта време в милисекунди от началото на измервателната сесия и един байт за състоянието (0/1). В старшия бит на байта за състоянието се кодира входа предизвикал събитието (0 за вход 1, 1 за вход 2).

Софтуер за настройка и конфигурация

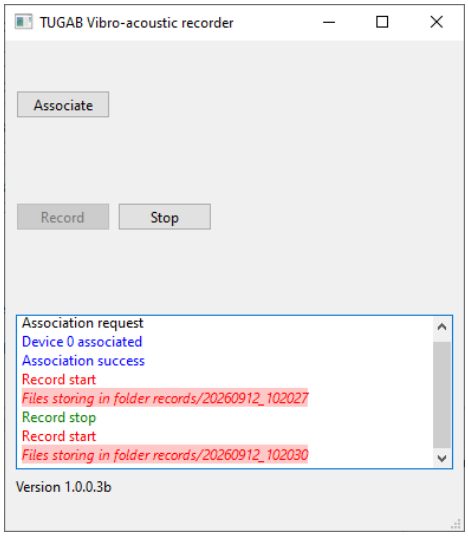
Разработеното приложение за конфигурация е реализирано на програмен език Python. Чрез него потребителят има възможност да конфигурира мрежовите настройки, да зададе уникално име на устройството, както и да промени различни флагове в контролния регистър. Изглед от работата на приложението е показан на фигура 6.



***Фиг. 5**. Изглед на приложението за конфигурация на устройството*

Приложение за запис на данните

Разработено е приложение за запис на получените данни, което съхранява аудио данните в WAV файл и данните от акселерометричния и цифровите данни в отделни CSV файлове. Файловете се съхраняват в папка, чието име съответства на датата и часа на стартирането на измервателната сесия. Изглед от работата на приложението е показан на фигура 6.



***Фиг. 6**. Изглед на приложението за запис на данни*

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В настоящата статия е разгледана разработката на устройство за събиране на вибро-акустични данни с Ethernet интерфейс. Вибро-акустичните данни могат да намерят голямо приложение в ранната диагностика. Съвременните MEMS технологии позволяват разработката на икономически ефективни решения, а интегрирането на модели с машинно обучение в софтуерите за обработка и анализ на данните може да подобри откриването на експлоатационни аномалии.

ЛИТЕРАТУРА

[1] Gbanaibolou Jombo; Yu Zhang Acoustic-Based Machine Condition Monitoring—Methods and Challenges - Eng 2023, 4(1), 47-79; https://doi.org/10.3390/eng4010004

[2] Val Puente, Lara del; Herráez Sánchez, Marta; Izquierdo Fuente, Alberto;Villacorta Calvo, Juan José; Suarez Vivar, LuisCould an array of MEMS microphones be used to monitor machinery condition or diagnose failures - International Congress on Sound and Vibration (ICSV 24), 2017

[3] Pradeep Kundu Review of rotating machinery elements condition monitoring using acoustic emission signal - Expert Systems with Applications, 15 October 2024, Article: 124169, Volume: Volume 252, Part B

[4] Oliver Mey;André Schneider; Olaf Enge-Rosenblatt; Dirk Mayer; Christian Schmidt; Samuel Klein; Hans-Georg Herrmann Condition Monitoring of Drive Trains by Data Fusion of Acoustic Emission and Vibration Sensors - Processes 2021, 9(7), 1108