

УДК 004.056.5

АНАЛІЗ ЗАГРОЗ ВИТОКУ АКУСТИЧНОЇ ІНФОРМАЦІЇ ЧЕРЕЗ ОПТИЧНІ СЕНСОРИ ПЕРИФЕРІЙНИХ ПРИСТРОЇВ

Кириловська С. К.

E-mail: sabina.kyrylovskaya@nure.ua

Науковий керівник: доц. Ликов Ю. В.

Харківський національний університет радіоелектроніки, каф.

КРiCTЗІ, м. Харків, Україна

This work evaluates the threat of acoustic information leakage through optical mouse sensors. Modern high-performance mice act as highly sensitive vibrometers, capturing sound-induced surface vibrations. The physical mechanism of transforming acoustic waves into cursor displacement coordinates is analyzed. A mathematical model for discrete signal recovery is discussed, addressing the challenges of non-uniform sampling and quantization noise. An experimental setup is proposed to capture these micro-vibrations using Python-based tools. The collected raw data undergoes interpolation and Wiener filtering to reconstruct the audio signal. The paper highlights the feasibility of this side-channel attack and the need for new security policies.

Вступ. В умовах стрімкого розвитку інформаційних технологій захист мовної інформації набуває особливої актуальності. Традиційні заходи технічного захисту зосереджені на виявленні спеціалізованих засобів перехоплення. Водночас зловмисники постійно вдосконалюють методи атак, використовуючи для шпигунства штатні периферійні пристрої через побічні канали витоку (Side-Channel Attacks). Останні наукові дослідження [1] показали, що високочутливі оптичні сенсори сучасних комп'ютерних мишей здатні реєструвати мікрівібрації поверхні, спричинені акустичними хвилями людського голосу. Метою даної роботи є дослідження можливості такого методу атаки.

Фізичний механізм загрози та оцінка ризиків. В основі алгоритмів роботи сучасних оптичних маніпуляторів лежить безперервний аналіз мікротекстури поверхні за допомогою CMOS-сенсора та цифрового сигнального процесора (DSP). Звукова хвиля від джерела створює змінний акустичний тиск, який діє на всі об'єкти в приміщенні, викликаючи їх мікрівібрації. Комп'ютерна миша вібрує відносно поверхні столу з амплітудою, що корелює з акустичним сигналом. Оптичний сенсор фіксує це як мікроскопічні зміщення, а DSP генерує потік пакетів даних із координатами dx та dy .

Оскільки дані про рух миші не вважаються конфіденційними, їх перехоплення не потребує привілеїв адміністратора. Попередня оцінка за стандартом CVSS v3.1 вказує на середній рівень ризику, однак практична небезпека визначається поширеністю пристроїв та складністю виявлення даного побічного каналу.

Математична модель та проблеми дискретизації. Головною перешкодою для відновлення звуку є невідповідність параметрів дискретизації. Згідно з теоремою Котельникова-Найквіста, точне відновлення аналогового сигналу можливе лише за умови, що частота дискретизації (f_s) перевищує подвоєну максимальну частоту спектра сигналу (f_{max}). Для мовного діапазону потрібна вища частота дискретизації (порядку кількох кГц). Сучасні ігрові маніпулятори з підвищеною частотою опитування частково задовольняють цю умову, тоді як стандартні офісні миші спричиняють явище аліасингу. Крім того, передача даних є подієвою та нерівномірною. Процес перетворення інкрементів зміщення $dx(t)$ та $dy(t)$ в амплітуду коливань $A(t)$ у часовий момент t описується формулою:

$$A(t) = \sqrt{(dx(t))^2 + (dy(t))^2}.$$

Відновлення оригінального сигналу $s(t)$ з нерівномірних відліків $x[n]$ в ідеальному випадку потребує використання формули інтерполяції Шеннона-Уїттекера:

$$s(t) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} x[n] \cdot \text{sinc}\left(\frac{t - nT_s}{T_s}\right),$$

де $T_s = \frac{1}{f_s}$ — період дискретизації, $\text{sinc}(x) = \frac{\sin(\pi x)}{\pi x}$.

Програмна реалізація та експеримент. Для практичної перевірки загрози розроблено прототип дослідницького стенду. Програмна частина логера реалізована мовою Python. Скрипт на базі бібліотеки rumpit виконує фонове перехоплення подій миші, зберігаючи точні мікросекундні часові мітки та координати у форматі CSV.

Аналіз отриманих масивів даних показує наявність значного шуму квантування. Для подолання цієї проблеми застосовується математична інтерполяція для зведення сигналу до рівномірної часової сітки та адаптивний фільтр Вінера для очищення мовного спектра [1].

Висновки. Проведене дослідження підтверджує принципову можливість витоку мовної інформації через оптичні сенсори маніпуляторів. Встановлено, що високий показник DPI та підвищена частота опитування сучасних мишей перетворюють їх на чутливі віброметри. Аналіз частотних спектрограм доводить наявність характерних сплесків амплітуди, що синхронізовані зі звуком. Подальші дослідження будуть спрямовані на інтеграцію методів машинного навчання для підвищення розбірливості мовлення та розробку методів активного зашумлення.

Список використаних джерел:

1. Zhan G. et al. Invisible Ears at Your Fingertips: Acoustic Eavesdropping via Mouse Sensors. *arXiv preprint arXiv:2509.13581*. 2025. URL: <https://arxiv.org/pdf/2509.13581> (дата звернення: 13.02.2026).