



Операційні системи

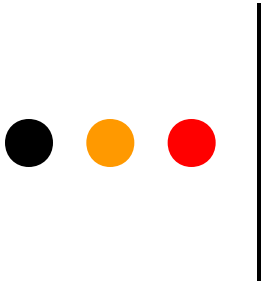
Лекція 10

Керування введенням-виведенням



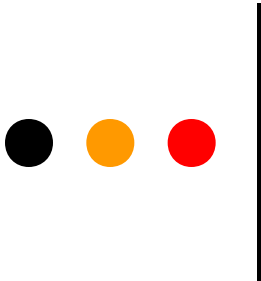
План лекції

- Завдання керування введенням-виведенням
- Фізична організація пристроїв введення-виведення
- Організація програмного забезпечення введення-виведення
- Синхронне та асинхронне введення-виведення



Завдання керування введенням-виведенням

- Забезпечення доступу до зовнішніх пристроїв з прикладних програм
 - Передавати пристроям команди
 - Перехоплювати переривання
 - Обробляти помилки
- Забезпечення спільного використання зовнішніх пристроїв
 - Розв'язувати можливі конфлікти (синхронізація)
 - Забезпечувати захист пристроїв від несанкціонованого доступу
- Забезпечення інтерфейсу між пристроями і рештою системи
 - Інтерфейс повинен бути універсальним для різних пристроїв



Фізична організація пристроїв введення-виведення

- Два типи пристроїв – *блок-орієнтовані* (або блокові) та *байт-орієнтовані* (або символні)
- Блок-орієнтовані пристрої
 - зберігають інформацію у блоках фіксованого розміру, які мають адресу
 - дозволяють здійснювати пошук
 - *Приклад:* диск
- Байт-орієнтовані пристрої
 - не підтримують адреси
 - не дозволяють здійснювати пошук
 - генерують або споживають послідовність байтів
 - *Приклади:* термінал, клавіатура, мережний адаптер
- Існують пристрої, які не належать ні до перших, ні до других
 - *Приклад:* таймер
- До якого типу належить оперативна пам'ять?



Контролери пристроїв

- Пристрій може мати механічний компонент
- Пристрій обов'язково має електронний компонент
 - Електронний компонент пристрою, що взаємодіє з комп'ютером, називають *контролером* (також – *адаптером*)
 - Контролер завжди має кілька *регістрів*
- ОС взаємодіє саме з контролером
- Незалежно від типу пристрою, контролер, як правило:
 - Під час операції введення перетворює потік біт у блоки, що складаються з байтів (під час виведення – навпаки)
 - Здійснює контроль і виправлення помилок



Робота з регістрами

○ Операції

- Виведення даних – це записування даних у *регістр виведення* контролеру (*data out*)
- Введення даних – це зчитування даних з *регістра введення* контролеру (*data in*)
- Керування пристроєм – це записування даних у *регістр керування* контролеру (*control*)
- Перевірка стану пристрою і результату попередньої операції – це зчитування даних з *регістра статусу* контролеру (*status*)

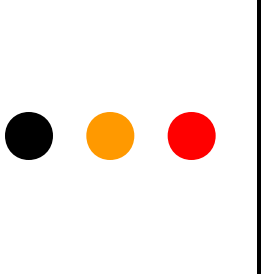
○ Варіанти архітектури комп'ютерів:

- Регістри контролерів є частиною адресного простору оперативної пам'яті (*memory-mapped I/O*)
- Регістри контролерів утворюють власний адресний простір – порти введення-виведення (*I/O port*)



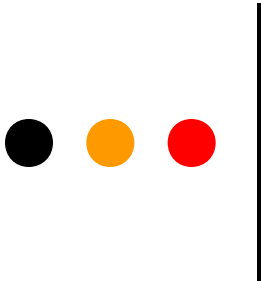
Драйвери пристроїв

- Драйвер пристрою – це програмний модуль, що керує взаємодією ОС із конкретним зовнішнім пристроєм
 - точніше – з його контролером
- Драйвер можна розглядати як транслятор, який:
 - отримує на свій вхід команди високого рівня, які зумовлені його (універсальним) інтерфейсом з ОС
 - на виході генерує інструкції низького рівня, специфічні для конкретного контролера
- Драйвери практично завжди виконують у режимі ядра
 - Драйвери можуть бути завантажені у пам'ять і вивантажені з неї під час виконання



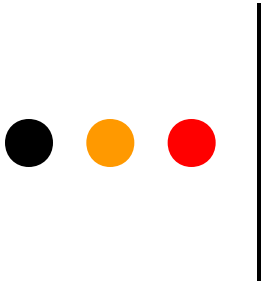
Способи виконання операцій введення-виведення (1)

- Опитування пристроїв
 - Драйвер у циклі зчитує біт *busy* регістру статусу, поки він не буде знятий
 - Драйвер встановлює біт *write* керуючого регістра і записує байт даних у регістр виведення
 - Драйвер встановлює біт *cready*
 - Контролер виявляє встановлений біт *cready* і встановлює біт *busy*
 - Контролер виявляє встановлений біт *write*, зчитує регістр виведення і передає отриманий байт пристрою
 - Контролер знімає біти *cready* і *busy* (операція завершена)



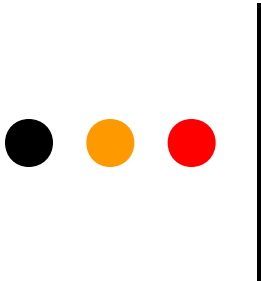
Способи виконання операцій введення-виведення (2)

- Введення-виведення, кероване перериваннями
 - У регістри записують команди та(або) дані
 - Контролер працює
 - Контролер викликає переривання
 - Обробник переривання перевіряє результати операції
- Прямий доступ до пам'яті (DMA)
 - Процесор дає команду DMA-контролеру виконати зчитування блоку даних з пристрою, при цьому він передає контролеру адресу буфера у фізичній пам'яті
 - DMA-контролер починає пересилання (процесор може виконувати інші інструкції)
 - Після завершення пересилання усього блоку (наприклад, 4 кБ), DMA-контролер генерує переривання
 - Оброблювач переривання завершує обробку операції



Особливості оброблення переривань

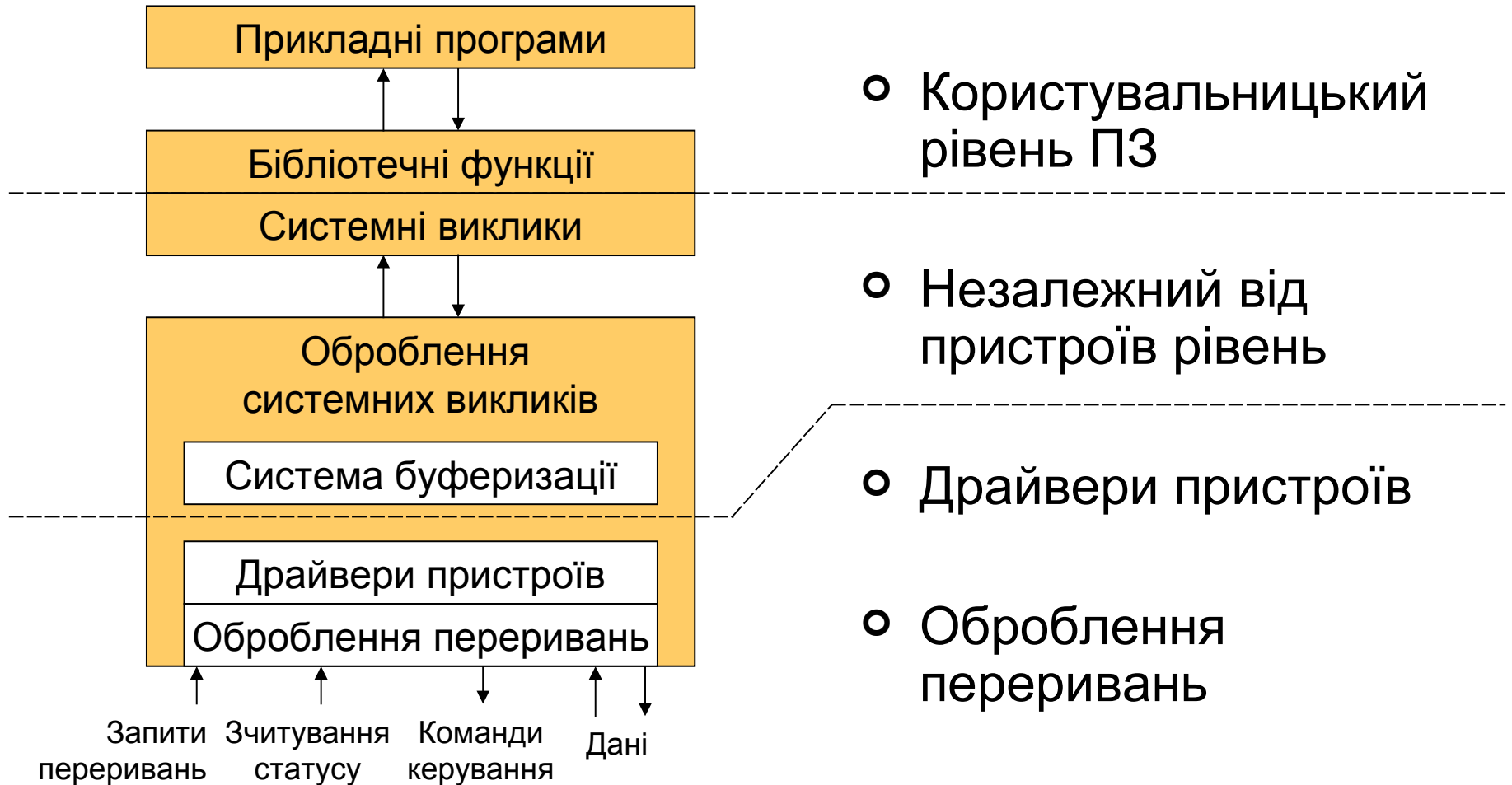
- Рівні переривань
 - Деякі переривання більш важливі, деякі – менш
 - Переривання поділяють на рівні відповідно до їхнього пріоритету (IRQL – *Interrupt Request Level*)
 - Можна *маскувати* переривання, які нижчі певного рівня (тобто, скасовувати їх оброблення)
- Встановлення оброблювачів переривань
 - Апаратні переривання обробляються *контролером переривань*, який надсилає процесору сигнал різними лініями (IRQ line)
 - Раніше контролери переривань були розраховані на 15 ліній
 - Сучасні контролери розраховані на більше ліній (Intel – 255)
 - Оброблювач переривання встановлюється драйвером пристрою, при цьому драйвер повинен визначити лінію IRQ, яку буде використовувати пристрій
 - Раніше користувачі мали вручну обрати номер лінії IRQ
 - Для деяких стандартних пристроїв номер лінії IRQ документований і незмінний
 - Драйвер може виконувати *зондування* (*probing*) пристрою. Цей підхід вважається застарілим
 - Пристрій сам повідомляє номер лінії. Цей підхід є найкращим

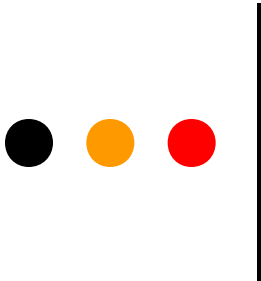


Особливості реалізації оброблювачів переривань

- В оброблювачах дозволено виконувати більшість операцій, за деякими винятками:
 - Не можна обмінюватись даними з адресним простором режиму користувача (оброблювач не виконується у контексті процесу)
 - Не можна виконувати жодних дій, здатних спричинити очікування
 - Явно викликати `sleep()`
 - Звертатись до синхронізаційних об'єктів з викликами, які можна заблокувати
 - Резервувати пам'ять за допомогою операцій, що призводять до сторінкового переривання
- Відкладене оброблення переривань
 - Для запобігання порушенню послідовності даних оброблювач переривань має на певний час блокувати (маскувати) переривання
 - Оброблювач повинен швидко завершувати свою роботу, щоби не тримати заблокованими наступні переривання
 - Для підвищення ефективності у сучасних ОС код оброблювача поділяють на дві половини:
 - *Верхня половина* (*top half*) – безпосередньо оброблювач переривання
 - *Нижня половина* (*bottom half*) – реалізує *відкладене оброблення переривання*. Не маскує переривання!

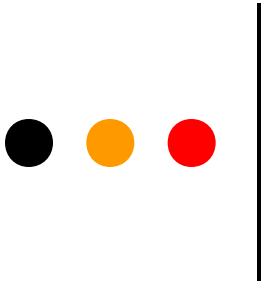
Ієрархія рівнів програмного забезпечення введення-виведення





Рівень, незалежний від пристроїв

- Забезпечення спільного інтерфейсу до драйверів пристроїв
- Іменування пристроїв
- Захист пристроїв
- Буферизація
- Розподіл і звільнення виділених пристроїв
- Повідомлення про помилки



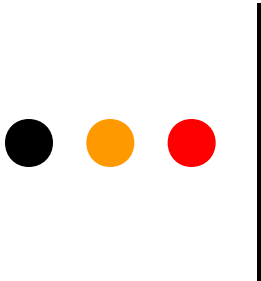
Синхронні та асинхронні операції введення-виведення

- Введення-виведення на рівні апаратного забезпечення є керованим перериваннями, а отже – асинхронним
- На користувальницькому рівні організувати синхронне оброблення даних значно простіше, ніж асинхронне
 - Потік робить блокувальний (синхронний) виклик
 - Ядро переводить потік у стан очікування пристрою
 - Після завершення операції введення-виведення викликається переривання
 - Обробник переривання переводить потік у стан готовності
- Синхронне введення-виведення не підходить для:
 - Серверів, що обслуговують багатьох клієнтів
 - Програм, що працюють з журналом
 - Мультимедійних застосувань



Асинхронне введення-виведення на користувальницькому рівні (1)

- Багатопотокова організація
 - У процесі створюють новий потік, який виконує звичайне синхронне введення-виведення
 - Проблеми:
 - Потрібно реалізовувати синхронізацію потоків
 - Може знизитись надійність прикладної програми
- Введення-виведення з повідомленнями (*notification-driven I/O, I/O multiplexing*)
 - Застосовується тоді, коли треба у циклі виконати блокувальний виклик для кількох файлових дескрипторів
 - Один із викликів може заблокувати потік тоді, коли на іншому дескрипторі є дані
 - Реалізують спеціальний виклик, який дозволяє потоку отримати повідомлення про стан дескрипторів
 - Після цього можна у циклі працювати з усіма дескрипторами, для яких у поточний момент введення-виведення можливе (блокування потоку не виникне)



Асинхронне введення-виведення на користувальницькому рівні (2)

- Асинхронне введення-виведення
 - Основна ідея – потік, який почав виконувати введення-виведення, не блокують
 - Послідовність:
 - Потік виконує системний виклик асинхронного в-в, який ставить операцію в-в у чергу і негайно повертає керування
 - Потік продовжує виконання паралельно з операцією в-в
 - Коли операцію завершено, потік отримує повідомлення
 - У разі асинхронного в-в не гарантується послідовність операцій
 - Якщо потік виконує посліпль операції 1 і 2, то цілком ймовірно, що операція 2 буде виконана до операції 1
- Порти завершення введення-виведення (I/O completion port)
 - Поєднує багатопотоковість з асинхронним в-в
 - Має переваги для серверів, що обслуговують велику кількість одночасних запитів
 - Принцип:
 - Створюють *пул потоків* (*thread pool*)
 - Кожний потік готовий до обслуговування запитів в-в
 - Кількість потоків обирають виходячи з кількості наявних процесорних ядер