

Systemy Operacyjne — sprzęt

Arkadiusz Chrobot

Katedra Systemów Informatycznych, Politechnika Świętokrzyska w Kielcach

Kielce, 15 października 2022

Plan wykładu

- 1 Scenariusze obsługi wejścia-wyjścia
- 2 System przerwań
 - Sposób działania
 - Realizacja
 - DMA
 - Pułapki
 - Zagadnienia pokrewne
- 3 Ochrona sprzętowa
 - Dualny tryb pracy procesora
 - Ochrona pamięci
 - Timer
- 4 Wywołania systemowe
- 5 Architektury wieloprocessorowe
- 6 Komputery osobiste

Plan wykładu

- 1 Scenariusze obsługi wejścia-wyjścia
- 2 System przerwania
 - Sposób działania
 - Realizacja
 - DMA
 - Pułapki
 - Zagadnienia pokrewne
- 3 Ochrona sprzętowa
 - Dualny tryb pracy procesora
 - Ochrona pamięci
 - Timer
- 4 Wywołania systemowe
- 5 Architektury wieloprocessorowe
- 6 Komputery osobiste

Plan wykładu

- 1 Scenariusze obsługi wejścia-wyjścia
- 2 System przerwania
 - Sposób działania
 - Realizacja
 - DMA
 - Pułapki
 - Zagadnienia pokrewne
- 3 Ochrona sprzętowa
 - Dualny tryb pracy procesora
 - Ochrona pamięci
 - Timer
- 4 Wywołania systemowe
- 5 Architektury wieloprocessorowe
- 6 Komputery osobiste

Plan wykładu

- 1 Scenariusze obsługi wejścia-wyjścia
- 2 System przerwania
 - Sposób działania
 - Realizacja
 - DMA
 - Pułapki
 - Zagadnienia pokrewne
- 3 Ochrona sprzętowa
 - Dualny tryb pracy procesora
 - Ochrona pamięci
 - Timer
- 4 Wywołania systemowe
- 5 Architektury wieloprocesorowe
- 6 Komputery osobiste

Plan wykładu

- 1 Scenariusze obsługi wejścia-wyjścia
- 2 System przerwań
 - Sposób działania
 - Realizacja
 - DMA
 - Pułapki
 - Zagadnienia pokrewne
- 3 Ochrona sprzętowa
 - Dualny tryb pracy procesora
 - Ochrona pamięci
 - Timer
- 4 Wywołania systemowe
- 5 Architektury wieloprocessorowe
- 6 Komputery osobiste

Plan wykładu

- 1 Scenariusze obsługi wejścia-wyjścia
- 2 System przerwań
 - Sposób działania
 - Realizacja
 - DMA
 - Pułapki
 - Zagadnienia pokrewne
- 3 Ochrona sprzętowa
 - Dualny tryb pracy procesora
 - Ochrona pamięci
 - Timer
- 4 Wywołania systemowe
- 5 Architektury wieloprocessorowe
- 6 Komputery osobiste

Plan wykładu

- 1 Scenariusze obsługi wejścia-wyjścia
- 2 System przerwań
 - Sposób działania
 - Realizacja
 - DMA
 - Pułapki
 - Zagadnienia pokrewne
- 3 Ochrona sprzętowa
 - Dualny tryb pracy procesora
 - Ochrona pamięci
 - Timer
- 4 Wywołania systemowe
- 5 Architektury wieloprocessorowe
- 6 Komputery osobiste

Plan wykładu

- 1 Scenariusze obsługi wejścia-wyjścia
- 2 System przerwań
 - Sposób działania
 - Realizacja
 - DMA
 - Pułapki
 - Zagadnienia pokrewne
- 3 Ochrona sprzętowa
 - Dualny tryb pracy procesora
 - Ochrona pamięci
 - Timer
- 4 Wywołania systemowe
- 5 Architektury wieloprocesorowe
- 6 Komputery osobiste

Plan wykładu

- 1 Scenariusze obsługi wejścia-wyjścia
- 2 System przerwań
 - Sposób działania
 - Realizacja
 - DMA
 - Pułapki
 - Zagadnienia pokrewne
- 3 Ochrona sprzętowa
 - Dualny tryb pracy procesora
 - Ochrona pamięci
 - Timer
- 4 Wywołania systemowe
- 5 Architektury wieloprocessorowe
- 6 Komputery osobiste

Plan wykładu

- 1 Scenariusze obsługi wejścia-wyjścia
- 2 System przerwań
 - Sposób działania
 - Realizacja
 - DMA
 - Pułapki
 - Zagadnienia pokrewne
- 3 Ochrona sprzętowa
 - Dualny tryb pracy procesora
 - Ochrona pamięci
 - Timer
- 4 Wywołania systemowe
- 5 Architektury wieloprocessorowe
- 6 Komputery osobiste

Plan wykładu

- 1 Scenariusze obsługi wejścia-wyjścia
- 2 System przerwań
 - Sposób działania
 - Realizacja
 - DMA
 - Pułapki
 - Zagadnienia pokrewne
- 3 Ochrona sprzętowa
 - Dualny tryb pracy procesora
 - Ochrona pamięci
 - Timer
- 4 Wywołania systemowe
- 5 Architektury wieloprocessorowe
- 6 Komputery osobiste

Plan wykładu

- 1 Scenariusze obsługi wejścia-wyjścia
- 2 System przerwań
 - Sposób działania
 - Realizacja
 - DMA
 - Pułapki
 - Zagadnienia pokrewne
- 3 Ochrona sprzętowa
 - Dualny tryb pracy procesora
 - Ochrona pamięci
 - Timer
- 4 Wywołania systemowe
- 5 Architektury wieloprocessorowe
- 6 Komputery osobiste

Plan wykładu

- 1 Scenariusze obsługi wejścia-wyjścia
- 2 System przerwań
 - Sposób działania
 - Realizacja
 - DMA
 - Pułapki
 - Zagadnienia pokrewne
- 3 Ochrona sprzętowa
 - Dualny tryb pracy procesora
 - Ochrona pamięci
 - Timer
- 4 Wywołania systemowe
- 5 Architektury wieloprocesorowe
- 6 Komputery osobiste

Plan wykładu

- 1 Scenariusze obsługi wejścia-wyjścia
- 2 System przerwań
 - Sposób działania
 - Realizacja
 - DMA
 - Pułapki
 - Zagadnienia pokrewne
- 3 Ochrona sprzętowa
 - Dualny tryb pracy procesora
 - Ochrona pamięci
 - Timer
- 4 Wywołania systemowe
- 5 Architektury wieloprocessorowe
- 6 Komputery osobiste

Obsługa wejścia-wyjścia

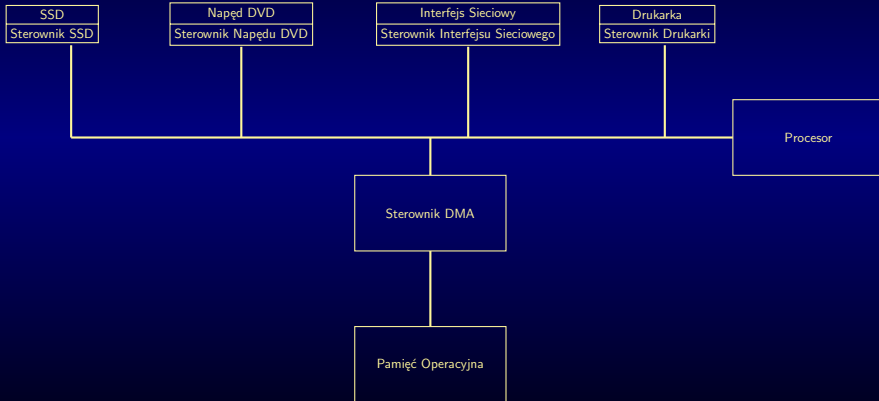
Aktywne oczekiwanie (ang. *busy waiting*)

Procesor nadzoruje pracę urządzenia przez cały czas trwania transmisji. Nadzór ten obejmuje takie czynności, jak: sprawdzenie gotowości urządzenia, wprowadzenie danych niezbędnych do wykonania komunikacji, oczekiwanie na odbiór lub wysłanie danych, w przypadku odbioru skopiowanie danych do pamięci operacyjnej. **W czasie oczekiwania na zakończenie operacji wejścia-wyjścia procesor nie wykonuje żadnych innych zadań.**

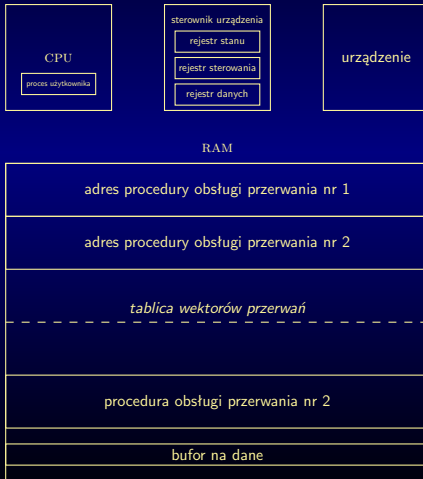
Przerwania (ang. *interrupts*)

Urządzenie możemy wyposażyć w układ sterownika, który może nadzorować jego pracę, zwalniając tym samym procesor z tego obowiązku. **W szczególności CPU nie musi czekać na zakończenie realizacji komunikacji.** Sterownik powiadamia procesor o zakończeniu transmisji generując sygnał nazywany *przerwaniem*.

Przerwania - schemat sprzętu

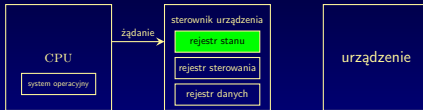


Przerwania - schemat działania



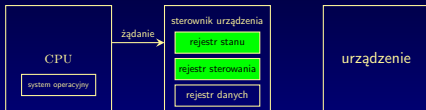
Proces (program) użytkownika żąda od systemu operacyjnego wykonania komunikacji z urządzeniem peryferyjnym, polegającej na przestaniu danej z urządzenia.

Przerwania - schemat działania



System operacyjny sprawdza, czy urządzenie jest gotowe do transmisji badając zawartość rejestru stanu sterownika urządzenia.

Przerwania - schemat działania

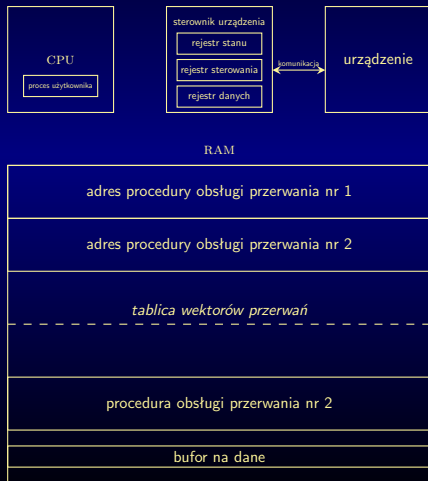


RAM



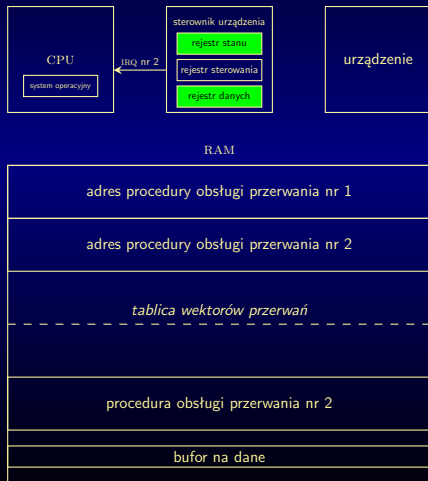
System operacyjny programuje sterownik urządzenia wpisując odpowiedni rozkaz do jego rejestru sterowania.

Przerwania - schemat działania



System operacyjny oddaje procesor procesowi użytkownika. W zależności od rodzaju wykonywanej operacji wejścia-wyjścia może to być ten sam proces, który zażądał wykonania transmisji, lub inny. W tym samym czasie sterownik nadzoruje pracę urządzenia, bez interwencji procesora.

Przerwania - schemat działania



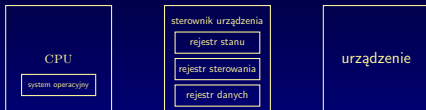
Kończy się proces transmisji, odebrana informacja jest umieszczona w rejestrze danych sterownika. W rejestrze stanu sterownik ustawia flagę oznaczającą zakończenie komunikacji, a następnie zgłasza przerwanie. Powoduje to automatyczne zapamiętanie bieżącego stanu procesora i adresu powrotu oraz przekazanie sterowania do systemu operacyjnego (objaśnione na kolejnych slajdach).

Przerwania - schemat działania

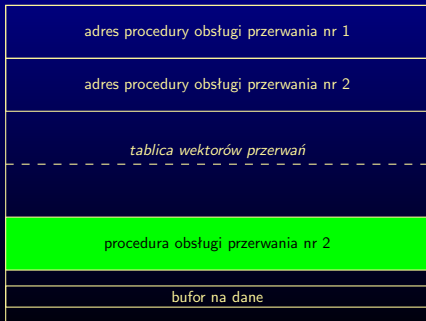


Następuje identyfikacja źródła przerwania — w tym przypadku dzięki wektorowemu systemowi przerwai. Z tablicy wektorów przerwai pobierany jest adres procedury obsługi tego przerwania.

Przerwania - schemat działania

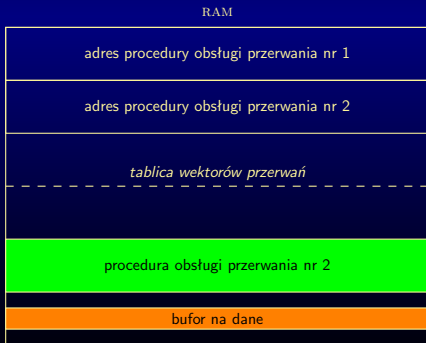


RAM



Sterowanie zostaje przekazane do procedury obsługi przerwania.

Przerwania - schemat działania



Podprogram obsługi przerwa-
nia kopiuje zawartość rejestru
danych sterownika do bufora
w pamięci i kończy swoją pra-
cę.

Przerwania - schemat dzialania



RAM



Procesor wraca do przerwanego zadania.

System przerwania-implementacja.

Podstawowym problemem, po wystąpieniu przerwania, jest zidentyfikowanie jego źródła. Pierwsze procesory, w których zastosowano przerwania miały tylko jedną linię zgłoszenia przerwania (*IRQ*), do której podpięte były wszystkie urządzenia peryferyjne. Jeśli wystąpił sygnał przerwania, to procesor sprawdzał rejestry stanu wszystkich urządzeń, celem znalezienia tego, które zgłosiło żądanie obsługi i uruchamiał odpowiadającą mu procedurę obsługi. Ten tryb ustalania źródła przerwania nazywamy odpytywaniem (ang. *polling*). Procesor musiał również rozstrzygnąć sytuację, w której więcej niż jedno urządzenie zgłosiło konieczność obsługi.

System przerwania-implementacja.

Bardziej wydajne rozwiązanie polega na zwiększeniu linii zgłoszeń przerwania i zastosowaniu łańcucha priorytetów zgłoszeń. Dzięki temu możliwe jest nie tylko natychmiastowe znalezienie źródła przerwania, ale również określenie kolejności obsługi zgłoszeń przerwania. Zgłoszenie określonego przerwania blokuje możliwość zgłoszenia przerwania o niższym lub równym priorytecie, ale możliwe jest zgłaszanie przerwania o wyższym priorytecie. Wadą tego rozwiązania jest to, że priorytety przerwania są przypisane urządzeniom „na sztywno”.

System przerwania-implementacja.

Doskonalszym rozwiązaniem jest wektorowy system przerwania. Wymaga on użycia osobnego, programowalnego kontrolera przerwania (ang. PIC). Ten kontroler połączony jest z procesorem. Jeśli urządzenie peryferyjne zgłosi przerwanie, to kontroler je identyfikuje i przekazuje jego numer procesorowi. Numer ten jest indeksem w *tablicy wektorów przerwania* (ang. *ivt*). Wartościami tej tablicy są adresy procedur obsługi przerwania. Każde przerwanie może więc mieć własną procedurę obsługi. Tablica ta może być umieszczona na początku lub końcu pamięci operacyjnej. Nowsze komputery pozwalają systemowi operacyjnemu zdecydować o jej położeniu. Tablica wektorów przerwania wraz z procedurami obsługi przerwania stanowi część systemu operacyjnego. Jest ona również używana razem z łańcuchami priorytetów zgłoszeń.

System przerwań-implementacja.

Nowsze platformy PC stosują rozwiązanie będące połączeniem odpytywania i wektorowego systemu przerwań. Linie żądania przerwań, które są przypisane przerwaniom o niskim priorytecie mogą być współdzielone przez kilka urządzeń równocześnie. Przez odpytywanie ustala się, które urządzenie zgłosiło przerwanie. Przerwania o wysokim priorytecie nie są współdzielone.

System przerwań-implementacja.

Innym problemem jest zapamiętanie kontekstu procesora, aby mógł on wrócić do zadania które realizował przed wystąpieniem przerwania. Przez kontekst procesora rozumiemy adres w pamięci operacyjnej (*adres powrotu*) spod którego ma być pobrany następny, po zakończeniu procedury obsługi przerwania, rozkaz do realizacji oraz stan rejestrów procesora. Najmniejszy kontekst obejmuje adres powrotu i rejestr stanu maszyny¹. Wczesne rozwiązania polegały na wyznaczeniu pewnego niewielkiego, ustalonego miejsca w pamięci komputera, gdzie kontekst był składowany. Nowsze polegają najczęściej na zapamiętaniu kontekstu na stosie.

¹W przypadku procesorów bazujących na architekturze x86 jest to rejestr flag.

System przerwania-implementacja.

W zależności od tego w jaki sposób zapamiętywany jest kontekst procesora i jak rozwiązana jest kwestia identyfikacji źródła przerwania, możemy różnie obsługiwać sytuację, w której przerwania następują szybko po sobie. Najprostsze rozwiązanie polega na wyłączeniu systemu przerwania na czas realizacji procedury obsługi pierwszego zgłoszonego przerwania i ponownym jego włączeniu po jej zakończeniu. Jest to jedyny sposób, który możemy stosować w systemach z odpytywaniem, ale jego zastosowanie nie ogranicza się wyłącznie do nich. W systemach ze współdzieleniem przerwania może być wyłączana tylko linia współdzielona. Systemy priorytetowe pozwalają na selektywne wyłączenie przerwania o niższym lub równym priorytecie. Technika ta nazywa się *maskowaniem*. Możliwe jest również odkładanie na później ich realizacji. We współczesnych systemach operacyjnych, celem zminimalizowania czasu, kiedy określona grupa przerwania lub wszystkie przerwania są wyłączone, procedury obsługi przerwania są podzielone na dwie części zwane połówkami. Górna połówka jest procedurą wykonywaną zaraz po otrzymaniu przerwania. Jej działanie jest krótkie i najczęściej służy do potwierdzenia odebrania przerwania oraz inicjacji dolnej połówki, której uruchomienie może być odroczone i która wykonuje czasochłonne czynności obsługi przerwania.

Direct Memory Access-DMA

Opisany wcześniej sposób komunikacji z urządzeniami wejścia-wyjścia, sprawdza się w przypadku do-
syć wolnych jednostek, jak np. klawiatura. Takie urządzenia nazywane są *urządzeniami znakowymi*.
Gdyby zastosować go do szybkich urządzeń, takich jak np. dysk twardy to okazałoby się, że pro-
cesor musiałby większość czasu spędzać wykonując podprogramy obsługi przerwań, ze względu na
bardzo dużą liczbę ich zgłoszeń. Rozwiązaniem jest zastosowanie dla tych urządzeń bezpośredniego
dostępu do pamięci (*DMA*). System komputerowy jest *wyposażony* w dodatkowy sterownik zwany
kontrolerem DMA. Kiedy program użytkownika żąda transmisji danych z szybkiego urządzenia to
system operacyjny programuje odpowiednio kontroler DMA, co wymaga między innymi wyznaczenia
obszaru w pamięci do którego urządzenie będzie zapisywało dane (lub z którego będzie pobierało je
w przypadku transmisji w odwrotnym kierunku) oraz określenia wielkości tych danych. Urządzenie
przesyła te dane blokami wielkości kilkuset lub nawet kilku tysięcy bajtów. Sterownik DMA powiada-
mia odpowiednim przerwaniem procesor, że transmisja została zakończona. **Procesor nie nadzoruje
przesyłania danych do lub z pamięci, robi to kontroler DMA.** Urządzenia obsługiwane w ten sposób
są nazywane *urządzeniami blokowymi*.

Pułapki

Wektorowy system przerwania można wykorzystać nie tylko do obsługi komunikacji z urządzeniami zewnętrznymi, ale również do obsługi sytuacji wyjątkowych. Najprostszym przykładem takiej sytuacji jest próba dzielenia przez zero. Przerwania obsługujące zdarzenia tego typu nazywamy pułapkami (ang. *trap*) lub wyjątkami (ang. *exception*). Takie przerwania mają wysokie priorytety i są najczęściej *niemaskowalne*. Mogą być również przerwaniami *nieprecyzyjnymi*, co oznacza że jeśli sygnał takiego przerwania pojawi się w trakcie realizacji dowolnego rozkazu, to wykonanie tego rozkazu **nie jest zakończone**. Przerwania związane z operacjami I/O są na ogół precyzyjne, tzn. ich obsługa zaczyna się po zakończeniu realizacji rozkazu. Pułapki są też najczęściej przerwaniami *synchronicznymi*, tzn. pojawiają się podczas realizacji określonych fragmentów programu, podczas gdy przerwania związane z urządzeniami peryferyjnymi mogą pojawić się podczas realizacji dowolnej instrukcji programu. Dlatego te ostatnie nazywane są przerwaniami *asynchronicznymi*. Od reakcji na sytuacje wyjątkowe zależy stabilność systemu komputerowego. Aby był on maksymalnie stabilny, musi reagować poprawnie na każdą możliwą sytuację krytyczną.

Obsługa wielu żądań dostępu do urządzenia

Ponieważ działanie systemu operacyjnego w dużej mierze zależy od systemu przerwania, łatwo zauważyć, że jest on *oprogramowaniem reagującym na zdarzenia*. Projektując system przerwania należy uwzględnić sytuację, w której urządzenie wejścia-wyjścia nie jest w stanie obsłużyć szybko otrzymywanych od procesora zleceń. Jest to sytuacja do której dochodzi bardzo często. Ten problem rozwiązuje się tworząc kolejki zleceń przypisane dla każdego urządzenia w komputerze. Jeżeli urządzenie jest wolne, to natychmiast wykonuje skierowane do niego zlecenie, w przeciwnym przypadku zlecenie to trafia do kolejki, gdzie oczekuje na swoją realizację.

Rozkaz oczekiwania

Pozostaje do rozstrzygnięcia kwestia, co powinien zrobić system operacyjny z procesem, którego żądanie operacji wejścia-wyjścia oczekuje na realizację. Jeśli żądane dotyczyło zapisu lub wysłania danych, to może on kontynuować swoją pracę. W przypadku operacji odbioru bądź odczytu danych system operacyjny może mu pozwolić na aktywne oczekiwanie (co jest jawnym marnotrawieniem czasu procesora) lub umieścić go w kolejce oczekiwania, a procesor oddać innemu procesowi. Większość współczesnych procesorów wyposażona jest w rozkaz *wait*, który zawieszają ich pracę do czasu pojawienia się przerwania. Rozkaz ten jest szczególnie użyteczny w przypadku systemów wbudowanych (ang. *embedded*), jeśli w systemie nie ma zadań, które musiały być natychmiast wykonane.

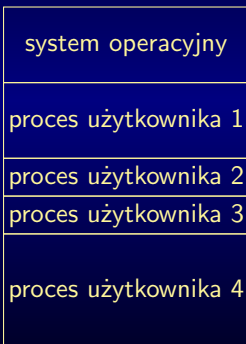
Prosta ochrona sprzętowa

Zastosowanie pułapek nie gwarantuje samoistnie stabilności systemu. Muszą istnieć dodatkowe mechanizmy, które pozwolą na jej zachowanie. Trzy z nich są konieczne do zbudowania najprostszego systemu ochrony.

Dualny tryb pracy procesora

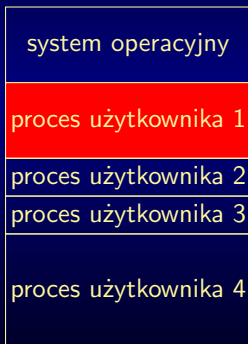
Procesy użytkownika nie powinny mieć możliwości wykonywania pewnych rozkazów. Aby to zapewnić twórcy sprzętu wyposażyli procesory w dwa tryby pracy: tryb jądra (nazywany też trybem monitora, systemu lub nadzorca) i tryb użytkownika. W pierwszym trybie wykonywany jest oczywiście system operacyjny, w drugim, procesy użytkownika. Przełączenie z trybu użytkownika do trybu monitora następuje między innymi w wyniku wystąpienia przerwania lub pułapki. To w jakim trybie znajduje się w chwili obecnej procesor określone jest ustawieniem odpowiedniego bitu w rejestrze stanu procesora. Lista rozkazów jest podzielona na dwa zbiory: rozkazów uprzywilejowanych, które mogą być wykonywane jedynie w trybie jądra i nieuprzywilejowanych, które mogą być wykonywane zawsze. Rozróżnia je ustawienie odpowiedniego bitu w słowie rozkazu, który jest porównywany z bitem trybu pracy. Jeśli program użytkownika spróbuje wykonać rozkaz uprzywilejowany, to zostanie uruchomiona odpowiednia pułapka, która zakończy jego działanie w sposób krytyczny.

Prosta ochrona pamięci



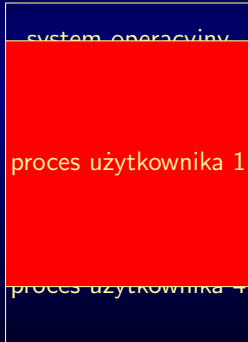
W systemach wieloprogramowych system operacyjny i pewna liczba programów użytkownika stale rezyduje w pamięci operacyjnej komputera.

Prosta ochrona pamięci



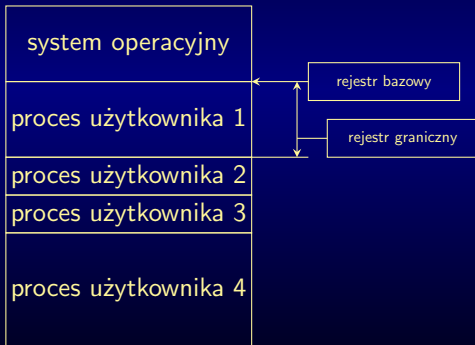
Jeśli wśród tych programów znalazłby się program, który odwoływałby się do pamięci w nieprawidłowy sposób, bądź w skutek błędu programisty, bądź na skutek celowego, złośliwego działania...

Prosta ochrona pamięci



...wówczas cały system
mógłby być zagrożony.

Prosta ochrona pamięci

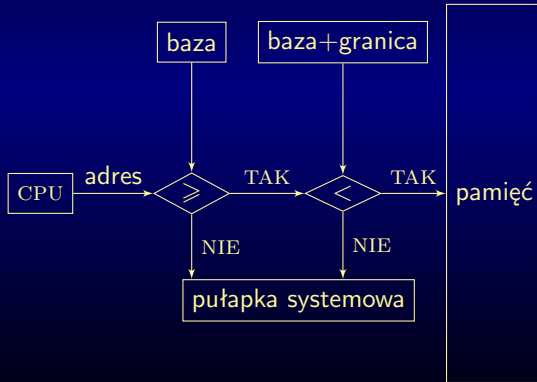


Aby zapobiec takiej sytuacji należy kontrolować każde odwołanie do pamięci bieżąco wykonywanego procesu użytkownika. Najprostsze rozwiązanie polega na zastosowaniu odpowiedniego układu elektronicznego składającego się między innymi z dwóch rejestrów — bazowego i granicznego. Pierwszy zawiera adres początku obszaru pamięci, który system operacyjny przyznał procesowi użytkownika, a drugi jego rozmiar.

Prosta ochrona pamięci

Każdy adres wygenerowany przez proces użytkownika sprawdzany jest zgodnie ze schematem umieszczonym na następnej planszy. Jeśli test nie powiedzie się uruchamiana jest pułapka i sterowanie wraca do systemu operacyjnego. Rozkazy modyfikujące rejestr bazowy i graniczny muszą być uprzywilejowane.

Prosta ochrona pamięci



Czasomierz

Opisane wcześniej mechanizmy nie chronią systemu przed sytuacją, w której proces użytkownika przejmuje procesor i nigdy go nie oddaje (np.: na skutek wystąpienia niekończącej się pętli). Taką ochronę może zagwarantować sprzętowy licznik czasu. Jest on najczęściej implementowany jako licznik zliczający w dół, którego stan zmienia się co takt zegara. Po wyzerowaniu licznika sterowanie wraca do systemu operacyjnego. Opisany czasomierz (ang. *timer*) może służyć jako układ typu *watchdog*, który np.: w systemie czasu rzeczywistego pozwalałby sprawdzić, czy zadanie wykonało się w przeznaczonym dla niego czasie. W systemach z podziałem czasu ten układ wyznacza moment, w którym system operacyjny powinien przełączyć procesor na inne zadanie użytkownika. Może on również służyć do (niezbyt dokładnego) wyznaczania pory dnia. Inicjacji czasomierza dokonuje system operacyjny, przed oddaniem sterowania procesowi użytkownika. Rozkaz inicjacji jest rozkazem uprzywilejowanym.

Odwołania do systemu operacyjnego

Skoro tylko system operacyjny może wykonywać operacje I/O i szereg innych ważnych czynności, to w jaki sposób proces użytkownika może się komunikować ze światem zewnętrznym lub podejmować inne działania konieczne do jego realizacji? Otóż współczesne komputery udostępniają procesom użytkownika rozkaz², który umożliwi zażądanie od systemu operacyjnego wykonania wymaganych przez nie operacji. Ten rozkaz jest nazywany przerwaniem programowym, ponieważ powoduje połączenie procesora w tryb monitora, oraz wykonanie odpowiedniej procedury obsługi przerwania. Ta procedura realizuje zamówioną przez proces użytkownika czynność. Nazywana jest ona *wywołaniem systemowym* (ang. *system call*) lub *funkcją systemową*. Proces użytkownika może przekazać jej pewne argumenty, ale zanim zostaną one użyte, muszą być przez procedurę dokładnie sprawdzone. Podsumowując — przerwania programowe umożliwiają procesom użytkownika korzystnie z usług systemu operacyjnego.

²W procesorach Intel jest to rozkaz INT.

Systemy wieloprocessorowe

Systemy wieloprocessorowe (równoległe) mają wiele zalet. Do największych z nich należy oczywiście wydajność. Należy jednak pamiętać, że system złożony z N procesorów nie wykonuje zadań N -razy szybciej niż system jednoprocessorowy. Przyspieszenie może być proporcjonalne do tej wartości, ale nigdy równe. Inną zaletą jest niezawodność — jeśli system składa się z takich samych procesorów, to w razie awarii jednego z nich, jego obowiązki przejmują pozostałe. Jeśli procesory są różne, takie rozwiązanie nie jest możliwe. Popularnym rozwiązaniem jest symetryczne wieloprzetwarzanie (ang. *SMP*). Polega ono na tym, że w systemie umieszczonych jest kilka jednakowych procesorów, a każdy z nich wykonuje własną kopię oprogramowania systemowego i przydzielone mu procesy użytkowników. Przed systemem operacyjnym stoi zadanie koordynacji pracy tych procesorów. We wczesnych systemach komputerowych popularne było wieloprzetwarzanie asymetryczne. W takim schemacie jeden, uprzywilejowany procesor zajmował się przetwarzaniem danych, pozostałe operacjami I/O. W chwili obecnej każdy komputer jest wyposażony w kontrolery, które zapewniają taki rodzaj wieloprzetwarzania, ale to określenie już nie funkcjonuje.

Architektury komputerów osobistych

Pierwsze mikroprocesory, takie jak Intel 8086, czy Motorola MC68000 pozbawione były środków sprzętowych wymaganych do zapewnienia choćby minimalnej ochrony systemowi operacyjnemu i procesom użytkownika. Rzutowało to oczywiście na budowę i sposób pracy pierwszych systemów operacyjnych przeznaczonych na te komputery (MS-DOS, MacOS). Z czasem pojawiły się droższe od komputerów klasy IBM PC stacje robocze (SUN, Apollo, Silicon Graphics), których procesory zapewniały odpowiednie mechanizmy ochrony. Te mechanizmy zaczęły się pojawiać w tańszych rozwiązaniach, co umożliwiło pisanie bardziej bezpiecznych i stabilnych systemów operacyjnych lub przenoszenie na komputery osobiste systemów znanych z „dużych” systemów komputerowych. Przykładem rodziny procesorów, która przeszła ewolucję od urządzeń w ogóle pozbawionych środków ochrony do urządzeń z elastycznym systemem ochrony jest rodzina x86. Obecnie procesory te potrafią pracować w czterech trybach nazywanych pierścieniami (ang. *ring*), przy czym najbardziej uprzywilejowany jest pierścień zerowy. Ten mechanizm wzorowany jest na systemie Multics.

Pytania

?

Koniec

Dziękuję Państwu za uwagę.