

Systemy czasu rzeczywistego

Mariusz Żynel

`mariusz@math.uwb.edu.pl`

`http://math.uwb.edu.pl/~mariusz/`

Uniwersytet w Białymstoku

2024/2025

Twarde i miękkie systemy czasu rzeczywistego

.

Hard and soft real-time systems

System czasu rzeczywistego to system, w którym poprawność działania zależy od:

- logicznego wyniku obliczeń
- czasu, w którym wyniki te są generowane

- System czasu rzeczywistego ma *ograniczenia czasowe* wykonania obliczeń i działań
- Według wielu źródeł ograniczenia czasowe dzieli się na dwa typy:
 - ▶ *twarde (hard)*
 - ▶ *miękkie (soft)*
- Istnieją różne definicje twardych i miękkich ograniczeń czasowych oparte na ocenie:
 - ▶ jak bardzo dana praca jest funkcjonalnie krytyczna
 - ▶ przydatności wyników
 - ▶ prawdopodobieństwa niedotrzymania terminów

Ograniczenia czasowe – funkcjonalna krytyczność

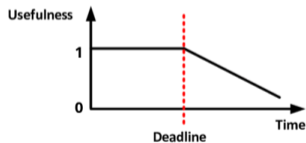
- Ograniczenie czasowe jest twarde, gdy jego niedotrzymanie jest błędem krytycznym
- Spóźniony wynik wyprodukowany przez pracę może mieć katastrofalne konsekwencje:
 - ▶ spóźnione polecenie zatrzymania pociągu może spowodować kolizję
 - ▶ bomba zrzucona zbyt późno może uderzyć w cywili zamiast w cel wojskowy
 - ▶ opóźnienie w wyznaczeniu pozycji statku kosmicznego może doprowadzić do katastrofy
- Późne ukończenie pracy może być niepożądane, ale nie katastrofalne:
 - ▶ spóźnione zakodowanie pakietu audio w telefonii VOIP spowoduje zniekształcenia w odbiorze
 - ▶ spóźnione odkodowanie ramki video spowoduje chwilowe zamazanie obrazu
 - ▶ opóźnienie w wyznaczeniu pozycji samochodu może utrudniać nawigację
- Taka definicja twardych i miękkich ograniczeń czasowych prowadzi do pytania, jak poważne są konsekwencje niedotrzymania terminu ostatecznego
- Pytanie czy ograniczenie czasowe jest twarde czy miękkie, sprowadza się do pytania, na ile poważne jest poważne (ilość cukru w cukrze)

Ograniczenia czasowe – przydatność wyników

- Funkcja *opóźnienia* pracy mierzy jak późno ta praca została ukończona względem jej terminu ostatecznego
- Funkcja opóźnienia przyjmuje wartość 0, gdy praca zostanie ukończona w terminie lub przed nim, w przeciwnym razie jest to różnica między czasem ukończenia a terminem ostatecznym
- Wraz ze wzrostem opóźnienia *przydatność* (*usefulness*) wyniku uzyskanego w ramach pracy z miękkim terminem ostatecznym stopniowo maleje, natomiast użyteczność wyniku uzyskanego w ramach pracy z twardym terminem ostatecznym spada gwałtownie



Hard Real-Time System



Soft Real-Time System

- Trudno jest zweryfikować, czy miara ogólnej wydajności systemu jako funkcji opóźnienia zachowuje się zgodnie ze specyfikacją funkcji użyteczności
- W konsekwencji tego rodzaju miary ilościowe nie są tak rygorystyczne, jak się wydaje

Ograniczenia czasowe – prawdopodobieństwo

- Ograniczenie czasowe jest:
 - **twarde** : nigdy nie można przekroczyć terminu ostatecznego (prawdopodobieństwo niedotrzymania terminu = 0)
 - **miękkie** : termin może być czasami przekroczony z pewnym akceptowalnie niskim prawdopodobieństwem (prawdopodobieństwo niedotrzymania terminu > 0)
- Załóżmy, że zadanie polegające na przywróceniu systemu oraz transakcja w punkcie sprzedaży kończą się w ciągu jednej minuty w 99,999% przypadków
- Prawdopodobieństwo niedotrzymania względnego terminu jednej minuty wynosi 10^{-5}
- Taka definicja całkowicie ignoruje konsekwencje niedotrzymania terminu
- W przypadku przywracania systemu, jeśli niedotrzymanie terminu mogłoby spowodować utratę życia albo zniszczenie mienia, wymagalibyśmy dokładnego wykazania, że to prawdopodobieństwo nigdy nie przekracza 10^{-5}
- W przypadku walidacji karty kredytowej nie wymagalibyśmy takiego dowodu

Według pewnych źródeł ograniczenia czasowe dzieli się na trzy typy:

- *twarde* (*hard*) – niedotrzymanie terminu traktowane jest jako awaria systemu
- *solidne* (*firm*) – system toleruje sporadyczne przekroczenia terminu
- *miękkie* (*soft*) – system dopuszcza częste przekroczenia terminu

Przykłady twardych systemów czasu rzeczywistego

- Samolot Air France Lot 447 rozbił się w oceanie po tym, jak awaria czujnika prędkości (spowodowane przez oblodzenie rurki Pitota w czasie silnej burzy) spowodowała serię błędów systemu. Piloci spowodowali przeciągnięcie, reagując na nieaktualne odczyty przyrządów. Zginęło 12 członków załogi i 216 pasażerów.
- Statek kosmiczny Mars Pathfinder niemal został utracony, gdy inwersja priorytetów spowodowała restarty systemu. Zadanie o wyższym priorytecie nie zostało ukończone na czas z powodu zablokowania go przez zadanie o niższym priorytecie. Problem został rozwiązany, a pojazd wylądował pomyślnie.
- Drukarka atramentowa wyposażona jest w głowicę drukującą z oprogramowaniem sterującym, które nanosi odpowiednią ilość atramentu na określoną część papieru. Jeśli termin zostanie przekroczony, wydruk będzie zrujnowany.

- Systemy produkcyjne z liniami montażowymi wyposażonymi w roboty, w których niedotrzymanie terminu skutkuje nieprawidłowym montażem części. Dopóki uszkodzone części są na tyle rzadkie, że wychwytuje je kontrola jakości i nie są zbyt kosztowne, produkcja jest kontynuowana.
- Cyfrowy dekodery telewizji kablowej dekoduje znaczniki czasu, kiedy klatki muszą pojawić się na ekranie. Ponieważ klatki są wrażliwe na kolejność czasową, niedotrzymanie terminu powoduje zakłócenia, co obniża jakość usługi. Jeśli zgubiona klatka później stanie się dostępna, spowoduje to jedynie większe zakłócenia odbioru, więc jest bezużyteczna. Widz może nadal cieszyć się programem, jeśli zakłócenia nie występują zbyt często.

Przykłady miękkich systemów czasu rzeczywistego

- Stacje pogodowe mają wiele czujników do odczytywania temperatury, wilgotności, prędkości wiatru itp. Odczyty powinny być pobierane i przesyłane w regularnych odstępach czasu, jednak czujniki nie są zsynchronizowane. Nawet jeśli odczyt czujnika może być spóźniony w porównaniu z innymi to konsekwencje nie są poważne.
- Konsola do gier wideo uruchamia oprogramowanie dla silnika gry. Istnieje wiele zasobów, które muszą być współdzielone między jej zadaniami. Jednocześnie zadania muszą być wykonywane zgodnie z harmonogramem, aby gra działała poprawnie. O ile zadania są wykonywane całkowicie względnie na czas, gra będzie płynna i przyjemna, a jeśli nie, może się opóźnić, lekko zacinać.

Twarde i miękkie ograniczenia czasowe

- Ograniczenie czasowe jest *twarde* (*hard real-time job*), jeśli użytkownik wymaga potwierdzenia (*validation*), że system zawsze spełnia ograniczenie czasowe
- Przez *potwierdzenie* rozumiemy dowód przy pomocy sprawdzonej, poprawnej i wydajnej procedury lub poprzez wyczerpującą symulację i testowanie
- Ograniczenie czasowe jest *miękkie* (*soft real-time job*), jeśli nie jest wymagane takie potwierdzenie lub wystarczy jedynie dowód, że praca spełnia pewne ograniczenie statystyczne, np.: średnia liczba niedotrzymanych terminów na minutę nie przekracza 2

Twarde ograniczenia czasowe

- Twarde ograniczenia czasowe można określać na wiele sposobów:

deterministycznie

- ▶ względny termin ostateczny każdego obliczenia reguły sterowania wynosi 50ms
- ▶ czas reakcji co najwyżej 1 z 5 kolejnych obliczeń reguły sterowania przekracza 50ms

probabilistycznie

- ▶ prawdopodobieństwo przekroczenia czasu reakcji 50ms jest nie większe niż 0,2
- ▶ prawdopodobieństwo niedotrzymania terminu ostatecznego nie przekracza 0,005

użytecznościowo

- ▶ użyteczność każdego obliczenia reguły sterowania wynosi przynajmniej 0,8
- ▶ użyteczność co najwyżej 1 z 5 kolejnych obliczeń reguły sterowania może spaść do 0,9

- Najskuteczniej możemy potwierdzić deterministyczne ograniczenia czasowe
- Jeśli znane są wszelkie konsekwencje przekroczenia twardego ograniczenia czasowego i wiadomo, że nie prowadzą one do katastrofy, to można osłabić te ograniczenia
- Gdy nie da się udowodnić ponad wszelką wątpliwość, że naruszenie ograniczeń czasowych nie zagrazi bezpieczeństwu użytkowników lub dostępności infrastruktury krytycznej, stosujemy bezpieczne podejście i wymagamy spełnienia wszystkich ograniczeń czasowych, nawet jeśli wymagania te mogą być niepotrzebnie rygorystyczne

Twardy system czasu rzeczywistego : (*hard real-time system*) to system, w którym większość ograniczeń czasowych jest twarda

- kontroler hamulców w pociągu (czas pokonania drogi hamowania)
- kontroler lotu (flight controller)
- układ ABS zapobiegający blokowaniu kół

Miękki system czasu rzeczywistego : (*soft real-time system*) to system, w którym ograniczenia czasowe w większości są miękkie

- system notowań cen akcji (krytyczne wymagania czasowe, kompromis)
- usługa VOD (średnia ilość utraconych ramek na minutę wynosi mniej niż 2)
- sieć telefoniczna (połączenie w 10s w 95% przypadków, w 20s w 99,95% przypadków)

Walidacja :

- potwierdzenie poprzez dostarczenie obiektywnego dowodu spełnienia określonych wymagań odnośnie do konkretnego użycia lub zastosowania
- ogół czynności mających na celu zbadanie odpowiedniości, trafności lub dokładności

Walidacja systemu czasu rzeczywistego przebiega w trzech krokach:

1. Weryfikacja, czy ograniczenia czasowe są określone poprawnie
2. Weryfikacja, czy każdy komponent systemu spełnia swoje ograniczenia czasowe, gdy wykonuje się samodzielnie i dysponuje wszystkimi wymaganymi zasobami
3. Weryfikacja systemu jako całości – zapewnienie spełnialności wszelkich ograniczeń czasowych wszystkich aplikacji, które kolejgowane są zgodnie z algorytmami używanymi przez system operacyjny i sieci komunikacyjne oraz które konkurują o zasoby

> FIN < ACK < FIN > ACK

init 5