

Systemy czasu rzeczywistego

Mariusz Żynel

`mariusz@math.uwb.edu.pl`

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

Uniwersytet w Białymstoku


2024/2025

Systemy o wielu częstotliwościach próbkowania (multirate)

- Zazwyczaj stan urządzenia (plant) określony jest nie przez jedną ale *wiele zmiennych*, np. prędkość obrotową, temperaturę, ciśnienie
- Takie urządzenie monitorowane jest przez wiele sensorów i sterowane wieloma elementami wykonawczymi
- Złożony regulator o wielu wejściach i wyjściach to system prostych regulatorów, każdy z jednym wejściem i wyjściem
- Poszczególne zmienne stanu mają zazwyczaj odmienną dynamikę i wymagają różnych okresów próbkowania, np. prędkość obrotowa zmienia się szybciej niż temperatura
- Można do wszystkich regulatorów zastosować najkrótszy okres próbkowania, ale część obliczeń reguł sterowania (control law) będzie niepotrzebnie wykonywana zbyt często
- Powiązane ze sobą logicznie regulatory łączone są w *grupy*
- W jednej grupie okresy próbkowania powiązane są ze sobą *harmonicznie*, tzn. każdy dłuższy okres próbkowania jest całkowitą wielokrotnością każdego krótszego okresu

Struktura sterowania kontrolera lotu helikoptera

Do the following in each 1/180-second cycle:

- Validate sensor data and select data source; in the presence of failures, reconfigure the system
- Do the following 30-Hz avionics tasks, each once every six cycles:
 - ▶ keyboard input and mode selection
 - ▶ data normalization and coordinate transformation, tracking reference update
- Do the following 30-Hz computations, each once every six cycles:
 - ▶ control laws of the outer pitch-control loop 
 - ▶ control laws of the outer roll-control loop
 - ▶ control laws of the outer yaw- and collective-control loop
- Do each of the following 90-Hz computations once every two cycles, using outputs produced by 30-Hz computations and avionics tasks as input:
 - ▶ control laws of the inner pitch-control loop
 - ▶ control laws of the inner roll- and collective-control loop
- Compute the control laws of the inner yaw-control loop, using outputs produced by 90-Hz control law computations as input
- Output commands
- Carry out built-in-test
- Wait until the beginning of the next cycle

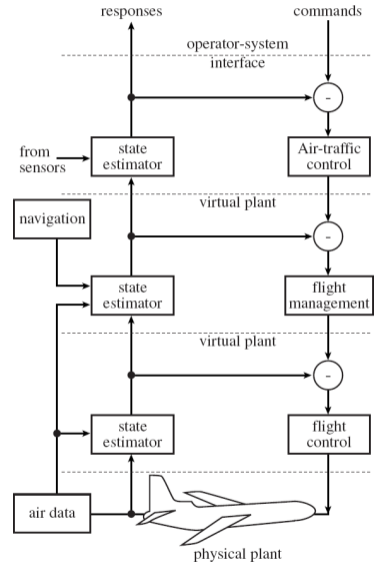
Bardziej złożone obliczenia reguł sterowania

- Prostota regulatora cyfrowego wynika z trzech założeń:
 - ▶ dane z sensorów pozwalają na dokładne oszacowanie wartości zmiennych stanu
 - ▶ dane z czujników określają stan urządzenia (plant)
 - ▶ znane są wszystkie parametry przedstawiające dynamikę urządzenia
- Nie zawsze wszystkie powyższe założenia są spełnione, dlatego regulator powinien być zaimplementowany jako poniższa nieskończona pętla czasowa ∞ :

```
set timer to interrupt periodically with period T;
at each clock interrupt, do
    sample and digitize sensor readings to get measured values;
    compute control output from measured and state-variable values;
    convert control output to analog form;
    estimate and update plant parameters;
    compute and update state variables;
end do;
```

Organizacja regulatorów w złożonych systemach

- W złożonych systemach monitorowania i kontroli regulatory zorganizowane są hierarchicznie
- Przykład: hierarchia kontrolera lotu (flight control), awioniki (flight management) oraz kontroli ruchu powietrznego (air traffic control)
- Kontrola ruchu powietrznego reguluje przepływ lotów do lotnisk docelowych, przypisując każdemu samolotowi czas przylotu do kolejnego punktu orientacyjnego
- Wskazany czas oraz punkt orientacyjny stanowią wartości zadane dla awioniki, która określa ścieżkę lotu tak, aby dotrzeć w odpowiednie miejsce na czas
- Prędkość przelotowa, promień skrętu, szybkość opadania/wznoszenia wymagane do podążania wybraną ścieżką lotu opartą na czasie są wartościami zadanymi dla kontrolera lotu



Sterowanie i kontrola w czasie rzeczywistym

- Regulator na najwyższym poziomie w hierarchii nazywany jest *systemem sterowania i kontroli* (*command and control system*)
- System sterowania i kontroli może mieć niewiele wspólnego z regulatorami niskiego poziomu
- Praca regulatora niskiego poziomu jest czysto okresowa
- System sterowania i kontroli oblicza i komunikuje się w odpowiedzi na sporadyczne zdarzenia i polecenia operatorów
- Wymagania czasowe systemu sterowania i kontroli są mniej rygorystyczne od wymagań regulatora niskiego poziomu
- Regulator niskiego poziomu zwykle działa na jednym lub kilku komputerach połączonych małą siecią lub dedykowanymi łączami
- System sterowania i kontroli jest często dużym rozproszonym systemem zawierającym dziesiątki i setki komputerów oraz wiele różnych rodzajów sieci

Bazy danych czasu rzeczywistego

- Szerokie spektrum systemów informacyjnych: giełda papierów wartościowych, systemy śledzenia i naprowadzania, systemy plików
- Gromadzone dane są *nietrwale*: bez okresowej aktualizacji jakość danych degraduje się, dane stają się bezużyteczne

Application	Size	Response time		Abs. cons.	Rel. cons.	Permanence
		Average	Maximal			
Air traffic control	20000	0.50 ms	5.00 ms	3.00 sec.	6.00 sec.	12 hours
Aircraft mission	3000	0.05 ms	1.00 ms	0.05 sec.	0.20 sec.	4 hours
Spacecraft control	5000	0.05 ms	1.00 ms	0.20 sec.	1.00 sec.	25 years
Process control		0.80 ms	5.00 sec.	1.00 sec.	2.00 sec.	24 hours

- *Wiek danych* określa jak długo dane nie były aktualizowane
- Zbiór danych jest *bezwzględnie czasowo spójny* (*absolute consistency*), gdy maksymalny wiek danych w tym zbiorze nie przekracza *progu bezwzględnej spójności*
- Zbiór danych jest *relatywnie czasowo spójny* (*relative consistency*), gdy maksymalna różnica wieku danych w tym zbiorze nie przekracza *progu relatywnej spójności*
- Wiek względny bywa bardziej istotny niż wiek bezwzględny: system planowania korelujący natężenie ruchu na autostradzie z natężeniem przepływu pojazdów wjeżdżających i zjeżdżających z autostrady

- Kompresja wideo to proces wymagający dużej mocy obliczeniowej
- W przypadku VOD *kompresja* wykonywana jest *off-line*
- W przypadku telekonferencji kompresja musi być wykonana *on-line*
- *Dekompresja* zawsze wykonywana jest tuż przed prezentacją
- Wymagania czasowe aplikacji multimedialnej wynikają z wymaganej jakości obrazu oraz dźwięku
- Jakość obrazu: *rozdzielczość, frame rate, synchronizacja ruchu ust*
- Im wyższa jakość tym większe zbiory danych, wyższe wymagania na miejsce do przechowywania i przepustowość podczas transmisji oraz dłuższy czas konieczny na kompresję i dekompresję
- Płynny obraz uzyskuje się przy 30 ramkach na sekundę (FPS), przekazy high-definition używają 60 FPS, podczas telekonferencji tolerowalne jest 10-20 FPS
- Aby osiągnąć synchronizację ruchu ust, odstęp między wyświetleniem każdej klatki a prezentacją odpowiadającego jej segmentu audio powinien wynosić nie więcej niż 80 ms i zdecydowanie nie więcej niż 160 ms

Klasyfikacja aplikacji czasu rzeczywistego

Czysto okresowe (cyfrowa kierownica, flight control)

- każde zadanie wykonywane jest okresowo
- operacje wejścia/wyjścia przez odpytywanie (polled I/O)
- zapotrzebowanie na zasoby nie zmienia się znacząco z okresu na okres

Głównie cykliczne (nawigacja, flight management)

- większość zadań wykonywana jest okresowo
- system musi reagować asynchronicznie na zdarzenia zewnętrzne

Asynchroniczne i przewidywalne (komunikacja multimedialna, systemy radarowe)

- czas wykonania kolejnych zadań może się znacznie różnić
- duże różnice w zapotrzebowaniu na zasoby w różnych okresach
- zakresy zmian są albo ograniczone, albo znane są statystyki

Asynchroniczne i nieprzewidywalne (air traffic control)

- zadania o dużej złożoności w czasie wykonywania
- konieczność reagowania na zdarzenia asynchroniczne

> FIN < ACK < FIN > ACK

init 5