Teoria Współbieżności - Rozwiązanie Zadania Domowego

Seweryn Tasior

23 stycznia 2026

1 Wstęp i cel zadania

Celem niniejszego zadania jest sformalizowanie klasycznego problemu Producent-Konsument dla bufora o pojemności N w notacji procesów komunikujących się kanałami. Rozwiązanie ma na celu wykazanie podstawowych własności poprawnościowych zgodnie z dobrymi praktykami formalnej weryfikacji.

W sformalizowanym modelu przyjęto następujące założenia projektowe:

- Bufor posiada określoną pojemność $N \in \mathbb{N}$, gdzie $N \geq 1$.
- Producent wytwarza, a Konsument odbiera porcje p typu *porcja*.
- Komunikacja między procesami jest synchroniczna (typu rendezvous) i odbywa się wyłącznie poprzez kanały.
- Procesy nie posiadają wspólnej przestrzeni adresowej i komunikują się jedynie poprzez operacje czytania ("?") oraz zapisywania ("!") danych na kanałach.

2 Wariant A: Bufor jako N niezależnych komórek

2.1 Przestrzeń stanów bufora

Zgodnie z zasadá komunikujących się procesów sekwencyjnych (CSP), system składa się z N niezależnych procesów $BUFFER(i)$. Każdy z procesów posiada lokalny stan wynikający z przebiegu pętli sterowania. Przestrzeń stanów całego systemu bufora definiujemy jako iloczyn kartezjański stanów poszczególnych komórek:

- Każdy proces $BUFFER(i)$ posiada alfabet$\alpha BUFFER(i)$ zawierający zdarzenia komunikacyjne z Producentem i Konsumentem
- $S = \{EM, FU\}^N$, gdzie EM oznacza stan pusty (Empty), a FU stan zajęty (Full).
- Proces $BUFFER(i)$ znajduje się w stanie EM, gdy wyemitował sygnał $JESZCZE()$ i oczekuje na synchronizację z kanałem $PRODUCER$.
- Proces znajduje się w stanie FU, gdy przechowuje porcję danych p i oczekuje na synchronizację z kanałem $CONSUMER$.

2.2 Warunki wysyłki i odbioru porcji

Komunikacja w systemie jest synchroniczna (rendezvous), co oznacza, że operacje wysyłania i odbioru są blokujące do momentu gotowości obu stron:

- **Warunek wysyłki (Producent):** Producent może przekazać porcję, jeśli istnieje przynajmniej jeden indeks $i \in \{0, \ldots, N-1\}$, dla którego proces $BUFFER(i)$ jest w stanie gotowości do odbioru (wykonał $JESZCZE()$).
- **Warunek odbioru (Konsument):** Konsument może odebrać porcję, jeśli istnieje proces $BUFFER(i)$ w stanie FU, gotowy do synchronizacji na kanale $CONSUMER$.

3 Wariant B: Bufor jako łańcuch

3.1 Interpretacja indeksu i mechanizm przesuwania

- **Interpretacja indeksu:** Indeks i wskazuje pozycję (stopień) w rurociągu przetwarzania danych. Proces $BUFFER(0)$ jest jedynym punktem wejścia dla Producenta, a $BUFFER(N-1)$ jedynym punktem wyjścia dla Konsumenta.
- **Mechanizm przesuwania:** Przesunięcie porcji p odbywa się poprzez sekwencję synchronicznych przekazań między sąsiednimi procesami $BUFFER(i) \rightarrow BUFFER(i+1)$. Każda komórka realizuje cykl: odbiór od poprzednika i natychmiastowe przekazanie do następcy.

3.2 Warunek poprawności FIFO

Wariant B narzuca porządek FIFO (First-In-First-Out), ponieważ:

- Każda porcja p musi przejść przez identyczną sekwencję zdarzeń (liter alfabetu procesu) od $i = 0$ do $i = N-1$.
- Relacja przyczynowości (causality ordered) uniemożliwia zmianę kolejności porcji, gdyż procesy są połączone szeregowo, a synchroniczny charakter kanałów nie pozwala na "wyprzedzanie"danych w łańcuchu.

4 Modyfikacja Wariantu A (wymuszenie FIFO)

Aby wymusić FIFO w Wariancie A, należy wyeliminować niedeterministyczny wybór komórki na rzecz cyklicznego wskazywania procesów przy użyciu liczników *in* oraz *out*.

Listing 1: Zmodyfikowana notacja CSP dla FIFO

```
[ PRODUCER:: p: porcja; in: 0..N-1; in := 0;
  *[ true -> produkuj(p); BUFFER(in)!p;
            in := (in + 1) mod N ]
||
  BUFFER(i:0..N-1):: p: porcja;
  *[ PRODUCER?p -> CONSUMER!p ]
||
  CONSUMER:: p: porcja;out: 0..N-1; out := 0;
  *[ BUFFER(out)?p -> konsumuj(p);
              out := (out + 1) mod N ]
]
```

Modyfikacja ta zapewnia, że Producent i Konsument synchronizują się z komórkami bufora w dokładnie tej samej kolejności indeksów i.