

# Harmonia

## Synchronizacja wykonywania utworów muzyki algorytmicznej dla orkiestr laptopowych

Robert Bendun

robert@bendun.cc



Link

### KONTEKST

#### MOTYWACJA

Orkiestry laptopowe mają ograniczoną ekspresję muzyczną przez trudność w synchronizacji występu pomiędzy osobami w orkiestrze. W przeciwieństwie do instrumentów klasycznych, laptopy oraz oprogramowanie generujące dźwięk ma trudną regulację prędkości wykonania "na bieżąco". Stawia to przed orkiestrą laptopową wymaganie zastosowania synchronizacji programowej, w przeciwieństwie do orkiestr klasycznych, w których pełna kontrola nad instrumentem umożliwia samodzielną synchronizację w trakcie występu.

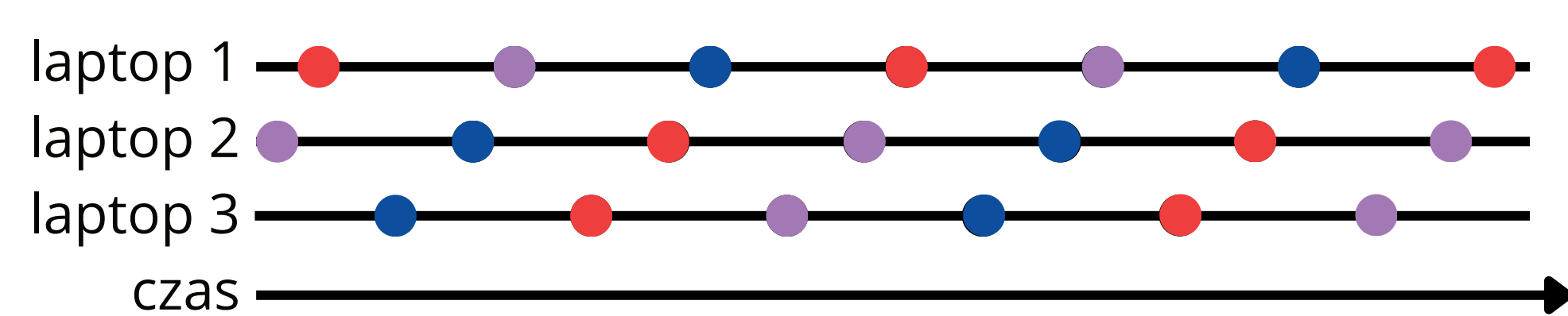
#### CEL

Stworzenie odtwarzacza, kontrolującego wykonanie utworów w sposób synchroniczny dla orkiestr laptopowych z maksymalizacją indywidualności osoby sterującej odtwarzaczem poprzez stworzenie partycypacyjnego, oddolnego i rozproszonego protokołu synchronizacji.

### POZIOMY SYNCHRONIZACJI

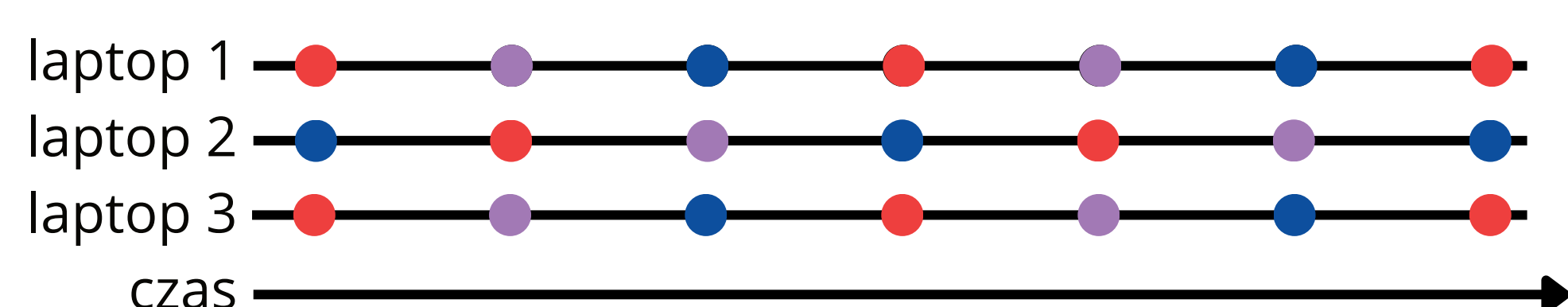
#### SYNCHRONIZACJA TEMPA

Postęp czasu jest spójny w ramach wszystkich maszyn - oczekiwanie 1 jednostki czasu trwa tyle samo na wszystkich urządzeniach. **Możliwa jest zmiana tempa w trakcie wykonania** - skutkuje to możliwą krótką desynchronizacją, która jest rozwiązywana przez stopniowe adaptowanie nowego tempa przez węzeł.



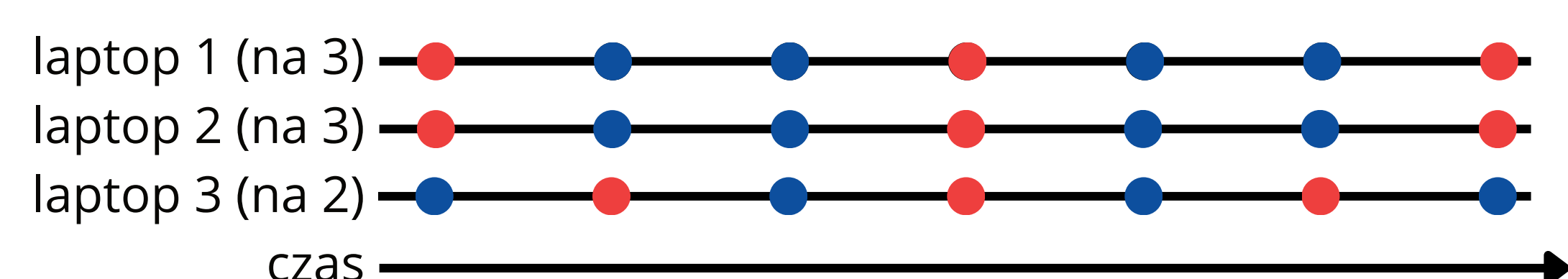
#### SYNCHRONIZACJA METRUM

Tworzone są wspólne momenty w czasie, współdzielone przez wszystkie maszyny. Nieznany jest relatywna kolejność między momentami - ten sam moment, może być momentem 1 na jednym laptopie i 17 na drugim.



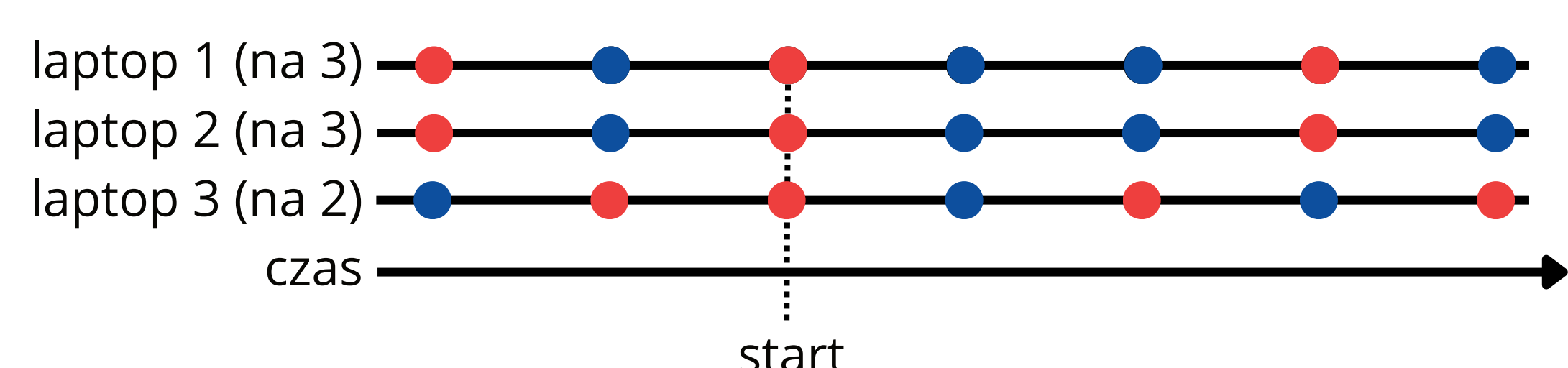
#### SYNCHRONIZACJA FAZY

Linia czasu dzielona jest na cykle, początki cykli są współdzielone. Długość cyklu jest indywidualna dla każdego laptopa i nie jest współdzielona. Umożliwia to sytuacje, w której wybierane są różne podziały - przykładowo, moment 12 będzie odpowiadać temu samemu w podziale na 3 i na 4.



#### SYNCHRONIZACJA STARTU

Wyznaczany jest punkt startu dzielony przez wszystkie partycypujące maszyny, unifikujący linie czasu na wszystkich maszynach.



### PROTOKÓŁ

#### USTALANIE STANU

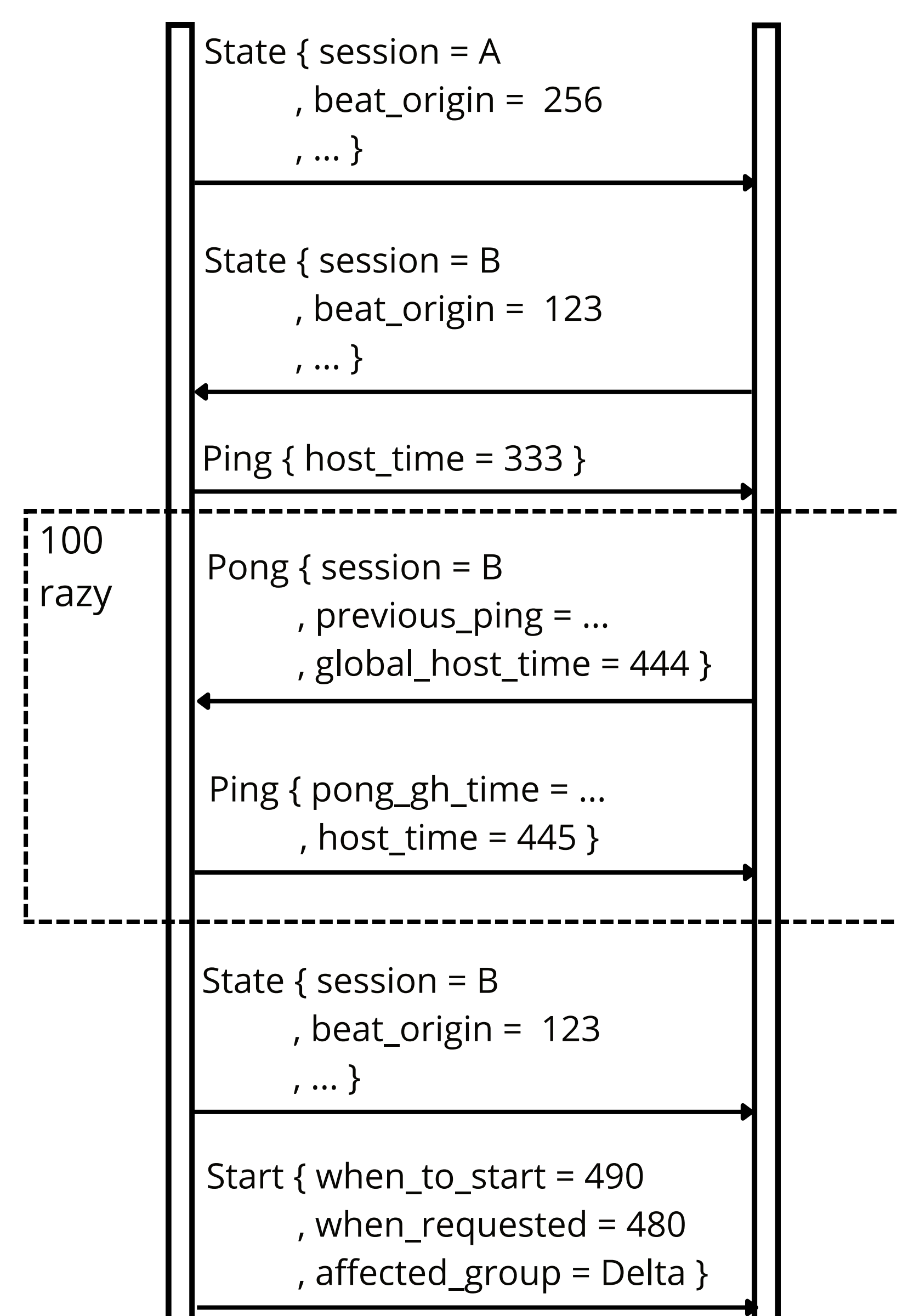
Protokół opiera się o ciągłe osiąganie konsensusu pomiędzy węzłami z włączoną synchronizacją. Aby to osiągnąć wysyła swój stan do sąsiadów z określoną częstotliwością. Każdy węzeł wybiera stan na podstawie czasu jego stworzenia oraz identyfikatora sesji (sortując dostępne stany leksykograficznie na podstawie krotki (czas, id\_sesji)).

Stan węzła to **zbiór informacji pozwalający na deterministyczne i jednoznaczne wyznaczenie wspólnego wirtualnego zegara** (global host time, synchronizacja tempa), na podstawie którego można synchronizować kolejne informacje (synchronizacja metrum, fazy i startu).

#### PRZEBIEG PROTOKOŁU

Protokół opiera się o dwa typy komunikatów - komunikaty opisujące stan oraz komunikaty ping-pong. **Komunikaty opisujące stan** przesyłają minimum informacji umożliwiające jednoznaczne odtworzenie stanu na pozostałych węzłach. Są wystarczające by w pełni odtworzyć stan sesji, dzięki czemu węzeł tworzący sesję nie musi być aktywny przez cały czas jej trwania.

**Komunikaty ping-pong** służą do wyznaczania wspólnego czasu zegarów na podstawie odczytu monotonicznych zegarów systemowych i estymacji czasu komunikacji pomiędzy węzłami.



### WNIOSKI

- Synchronizacja występów wieloosobowych z wykorzystaniem urządzeń bez bezpośredniej kontroli nad wykonaniem jest konieczna;
- Różne utwory wymagają różnego poziomu synchronizacji;
- Istniejące rozwiązania synchronizacji wykonania utworów nie wspierają orkiestr laptopowych
- Synchronizacja zegarów jest kluczowym, ale nie jedynym elementem wykonania utworu w systemie rozproszonym orkiestry laptopowej
- Czas w utworze muzyki algorytmicznej powinien być na podstawie momentu usłyszenia dźwięku, a nie wyłącznie czasu systemowego

### BIBLIOGRAFIA

- Roger B. Dannenberg, & Patrick van de Lageweg (2001). A System Supporting Flexible Distributed Real-Time Music Processing. In Proceedings of the 2001 International Computer Music Conference, ICMC 200
- Florian Goltz. (2018). Ableton Link – A technology to synchronize music software. In Proceedings of the Linux Audio Conference 2018 (pp. 39–42). Berlin; c-base.