

№5 Дәріс. Үлестірілген жүйелердегі уақыт пен сағаттарды синхрондау

Дәріс мақсаты.

- Үлестірілген жүйелердегі уақыт ұғымы мен оның маңызын түсіндіру;
- Физикалық және логикалық сағаттардың ерекшеліктерін түсіндіру;
- Сағаттарды синхрондау мәселелерін және оларды шешу әдістерін қарастыру;
- NTP, Cristian алгоритмі, Berkeley алгоритмі, Lamport логикалық сағаттары және Vector clocks принциптерін түсіндіру.

Кілт сөздер. Уақыт синхрондауы, физикалық сағат, логикалық сағат, желі кідірісі, Cristian алгоритмі, Berkeley алгоритмі, Lamport clock, Vector clock, NTP (Network Time Protocol), causal order, distributed systems, event ordering.

Дәріс жоспары

1. Үлестірілген жүйелердегі уақыт түсінігі
2. Сағаттардың түрлері: физикалық және логикалық
3. Сағаттарды синхрондаудың қажеттілігі
4. Физикалық уақытты синхрондау әдістері
 - Cristian алгоритмі
 - Berkeley алгоритмі
 - Network Time Protocol (NTP)
5. Логикалық уақыт және себептілік (causality)
6. Lamport логикалық сағаттары
7. Векторлық сағаттар (Vector clocks)
8. Синхрондау мәселелері мен қиындықтары
9. Қорытынды

1. Үлестірілген жүйелердегі уақыт түсінігі

Үлестірілген жүйеде көптеген тәуелсіз түйіндер (серверлер, компьютерлер, датчиктер) жұмыс істейді.

Әрқайсысының өз ішкі сағаты болады, және бұл сағаттар уақыт өте келе айырмашылық туғызады (clock drift).

Мысалы:

- Бір сервер UTC+00 уақытында
- Екіншісі сол уақытта UTC+00.05 болуы мүмкін

Уақыт сәйкессіздігі қателерге әкеледі:

- Журналдарда (logs) оқиғалардың реті бұзылады
- Транзакциялар қате өңделуі мүмкін
- Репликация барысында қақтығыстар пайда болады

2. Сағат түрлері

Физикалық сағаттар

- Нақты әлемдік уақытты көрсетеді (UTC)
- Мысалы: жүйелік сағат, GPS уақыт, NTP уақыт

Логикалық сағаттар

- Уақыт мәнін емес, оқиғалардың ретін көрсетеді
- "Қай оқиға бұрын болды?" сұрағына жауап береді

3. Неліктен синхрондау қажет?

Мәселе	Түсініктеме
Лог жүргізу	Оқиғалардың реті сақталуы керек
Транзакциялар	Бір уақытта деректерді өзгерту мәселесі
Кэш және репликация	Ең соңғы нұсқаны таңдау керек
Желі протоколдары	Хабарламалардың реті маңызды

4. Физикалық уақыт синхрондау әдістері

Cristian алгоритмі

Клиент серверден уақыт сұрайды.

Формула:

ini

$$T = T_{\text{server}} + \text{RTT}/2$$

(Желі кідірісінің жартысы қосылады)

Артықшылықтары: қарапайым

Кемшілігі: сервер істен шықса — жүйе бұзылады

Berkeley алгоритмі.

Орталық сервер барлық машиналардан уақыт алады, орташа мәнін есептеп, түзету жібереді.

Айырмашылық: UTC емес, жүйе ішінде ортақ уақыт

NTP (Network Time Protocol)

Интернеттегі негізгі уақыт синхрондау протоколы

Ерекшелігі:

- Иерархиялық құрылым (Stratum деңгейлері)
- Миллисекунд дәлдік
- Желі кешігулерін есепке алады

Stratum деңгейлері:

Деңгей	Түсінігі
Stratum 0	GPS, атомдық сағат
Stratum 1	Тікелей Stratum 0-ден алады
Stratum 2	Stratum 1-ден алады, т.б.

5. Логикалық уақыт және себептілік

Физикалық уақыт дәл болмаса, логикалық уақыт қолданылады. Маңызды принцип — causality (себеп-салдар байланысы). Егер А оқиғасы В оқиғасына әсер етсе:

CSS

$A \rightarrow B$

Бұл — happened-before relationship (Lamport's relation)

Lamport логикалық сағаттары

Ереже:

- Әр процесс сандық уақыт жүргізеді
- Әр оқиғаға уақыт +1
- Хабарлама жіберу: уақыт жіберіледі
- Қабылдау: $\max(\text{local}, \text{received}) + 1$

Мысал:

Процесс	Оқиға	Уақыт
P1	A	1
P1 → P2	message	2
P2 алады	B	$\max(1, 2) + 1 = 3$

Артықшылығы: қарапайым

Кемшілігі: нақты себеп-салдар ретін әрқашан көрсете алмайды.

7. Vector Clocks (Векторлық сағаттар)

Әр процесс басқа процестердің уақытын да сақтайды.

Мысалы 3 процесс болса:

ini

$P1 = [3, 0, 1]$

$P2 = [2, 5, 0]$

$P3 = [0, 2, 4]$

Артықшылығы:

causality

толық

анықтайды

Кемшілігі: жад талаптары өседі $O(N)$

Үлестірілген синхрондаудағы қиындықтар

- Желідегі кідірістер
- Пакеттердің жоғалуы
- Түйіндердің істен шығуы
- Әртүрлі географиялық орналасу
- Масштабталу (көп түйін → көп күрделілік)

Қорытынды

Түр	Мақсаты
-----	---------

Түр	Мақсаты
Физикалық уақыт	Нақты UTC уақытын теңестіру
Логикалық уақыт	Оқиғалардың ретін анықтау

Заманауи жүйелер екі әдісті де қолданады (NTP + vector clocks)

Бақылау сұрақтары

1. Үлестірілген жүйеде уақыт синхрондауы не үшін қажет?
2. Физикалық және логикалық сағаттардың айырмашылығы неде?
3. Cristian алгоритмі қалай жұмыс істейді?
4. Berkeley алгоритмінің ерекшелігі қандай?
5. NTP протоколының артықшылығы қандай?
6. Lamport логикалық сағаттары деген не?
7. Vector clocks қандай жағдайда қолданылады?

Пайдаланылған әдебиеттер

1. Таненбаум Э., Ван Стеен М. *Распределенные системы: принципы и парадигмы*
2. George Coulouris. *Distributed Systems: Concepts and Design*
3. Lamport L. *Time, Clocks and Ordering of Events in a Distributed System*, CACM, 1978
4. Mills D. *Network Time Protocol (NTP)* RFC 5905
5. Andrew S. Tanenbaum. *Modern Operating Systems*