

Как при помощи бумаги, карандаша и алгоритма Raft достичь консенсуса

Ярослав Дынников

Picodata



Слайды: <https://rosik.github.io/2023-highload>

О чем речь

Кластер — это группа процессов, работающих совместно и представляющихся пользователю единым компьютерным ресурсом.

О чем речь

Кластер — это группа процессов, работающих совместно и представляющихся пользователю единым компьютерным ресурсом.

Задача

- Есть несколько серверов.
- Надо достичь консенсуса.

О чем речь

Кластер — это группа процессов, работающих совместно и представляющихся пользователю единым компьютерным ресурсом.

Задача

- Есть несколько серверов.
- Надо достичь консенсуса.
- В ненадежной сети.

О чем речь

Кластер — это группа процессов, работающих совместно и представляющихся пользователю единым компьютерным ресурсом.

Задача

- Есть несколько серверов.
- Надо достичь консенсуса.
- В ненадежной сети.

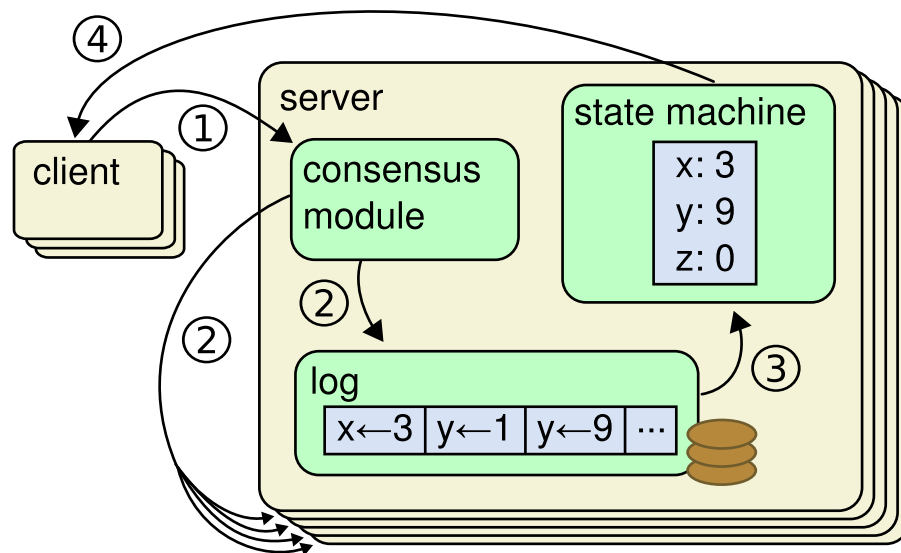
Решение — Raft

- In search of Understandable Consensus Algorithm.
- Diego Ongaro and John Ousterhout. Stanford University.
- <https://raft.github.io>

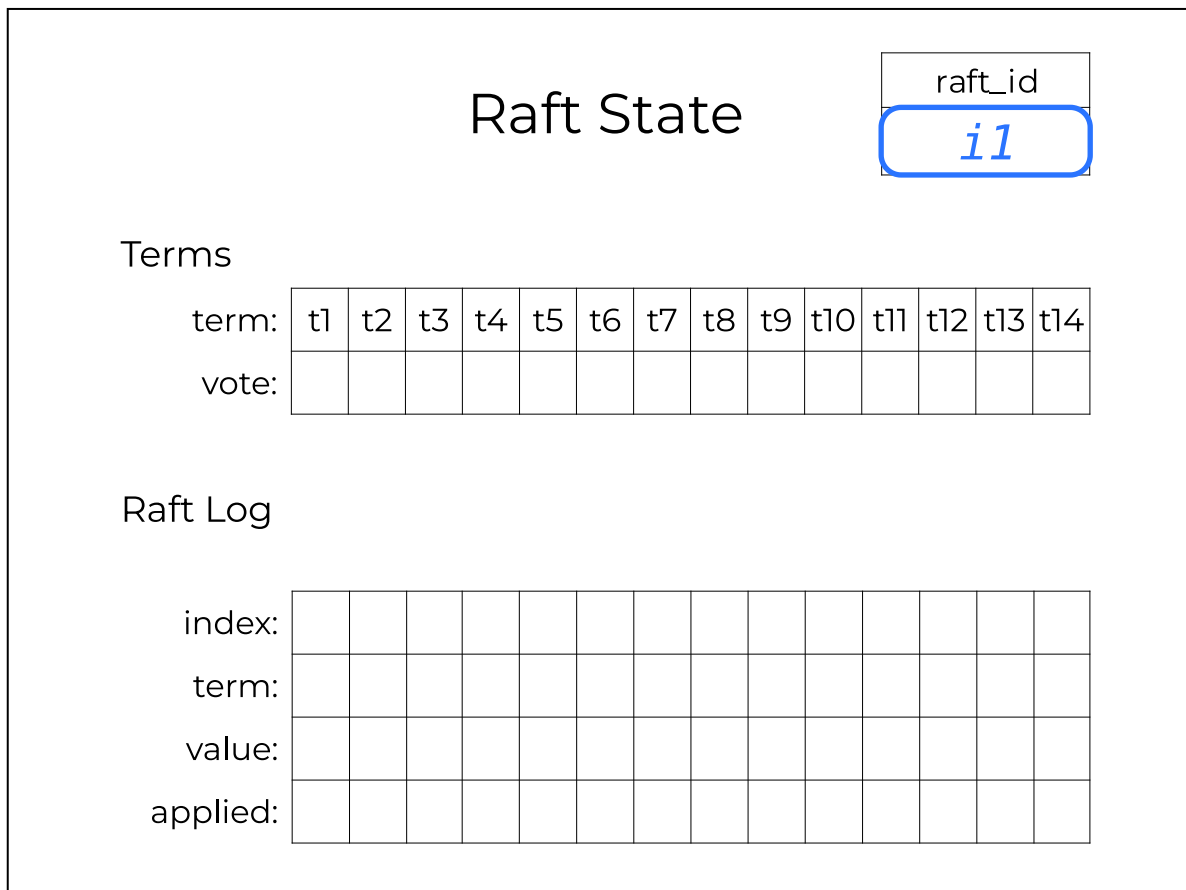
Raft



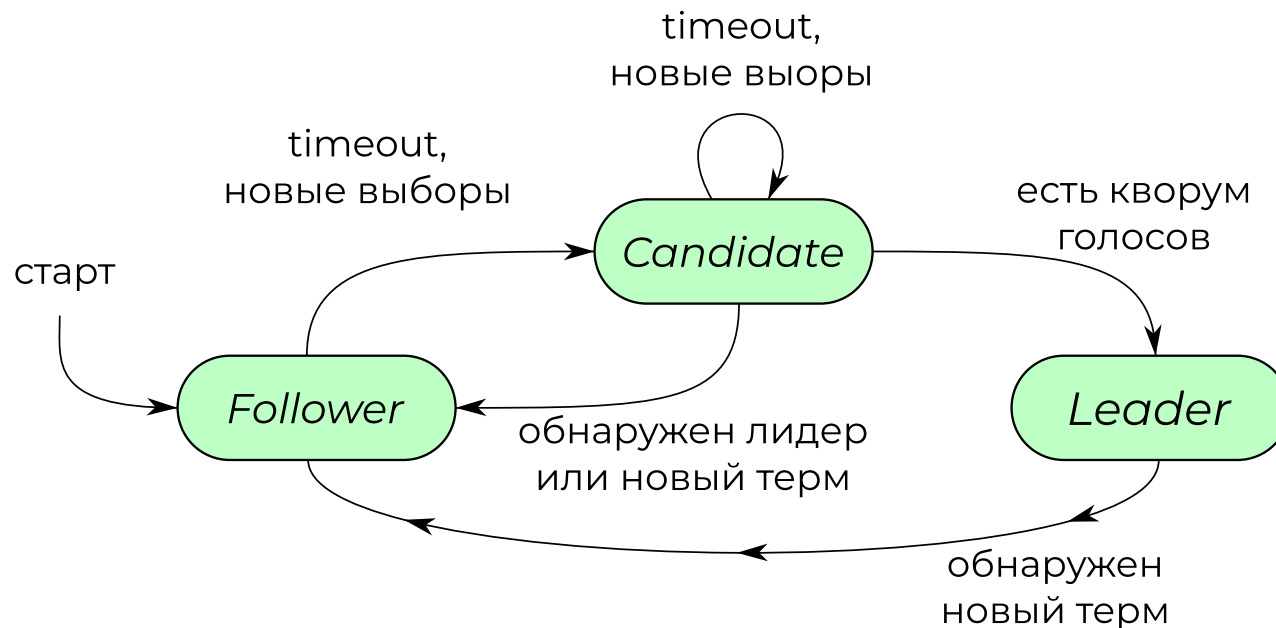
Реплицируемый конечный автомат



Персистентное хранилище



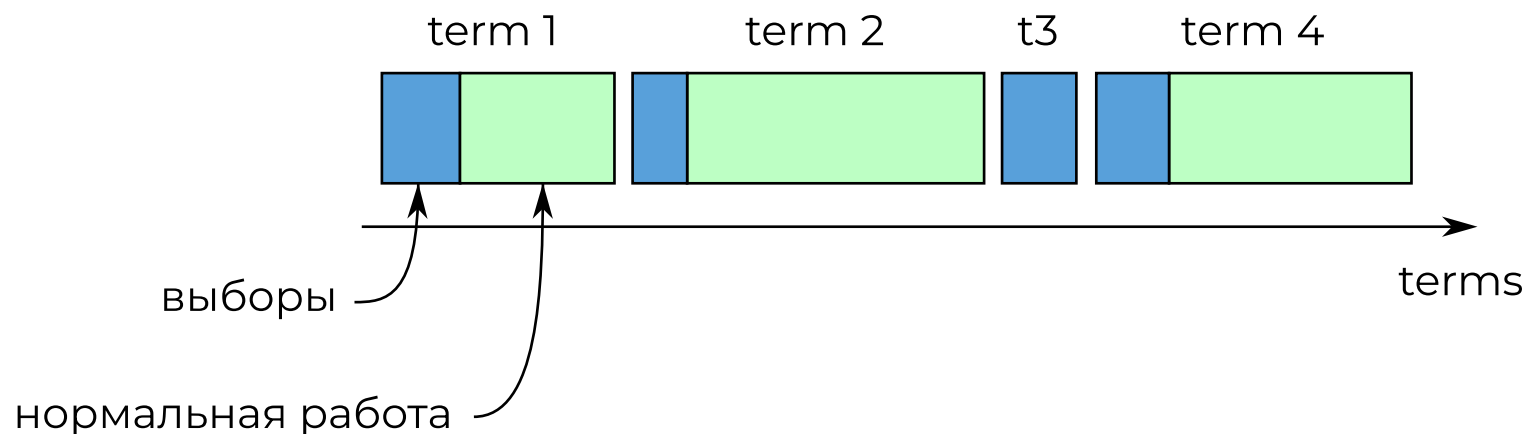
Лидер, фолловер, кандидат



- *Leader* единственный пишет в журнал + пингует окружающих
- *Follower* пассивен, не отправляет никаких запросов
- *Candidate* проводит голосование

Термы

Терм — это отрезок времени неопределенной длины. Он начинается с выборов, после которых единственный лидер управляет кластером.



Выборы лидера

Игра 1



i1, начинайте выборы



9

Raft State

raft_id
<i>i1</i>

Terms

term:	t1	t2	t3	t4	t5	t6	t7	t8	t9	t10	t11	t12	t13	t14
vote:	<i>i1</i>													

Raft Log

index:														
term:														
value:														
applied:														

RequestVoteRPC

term:	<i>t1</i>
candidateId:	<i>i1</i>
lastLogIndex:	<i>0</i>
lastLogTerm:	<i>t0</i>

Response

	i1	i2	i3	i4	i5	i6	i7	i8
ok	✓							

i2-i8: «OK»



10

RequestVoteRPC

term:	<i>t1</i>
candidateId:	<i>i1</i>
lastLogIndex:	<i>0</i>
lastLogTerm:	<i>t0</i>

Response

	i1	i2	i3	i4	i5	i6	i7	i8
ok	✓	✓						

Raft State

raft_id
<i>i2</i>

Terms

term:	t1	t2	t3	t4	t5	t6	t7	t8	t9	t10	t11	t12	t13	t14
vote:	<i>i1</i>													

Raft Log


index:														
term:														
value:														
applied:														

i1: «Y-xyy!»

Raft State

raft_id
<i>i1</i>

Terms



term:	t1	t2	t3	t4	t5	t6	t7	t8	t9	t10	t11	t12	t13	t14
vote:	<i>i1</i>													

Raft Log

index:														
term:														
value:														
applied:														

RequestVoteRPC

term:	<i>t1</i>
candidateId:	<i>i1</i>
lastLogIndex:	<i>0</i>
lastLogTerm:	<i>t0</i>

Response

	i1	i2	i3	i4	i5	i6	i7	i8
ok	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓

Репликация журнала

Игра 2






іІ, заповняйте raft-журнал

Raft State

raft_id

і1

Terms



term:

t1	t2	t3	t4	t5	t6	t7	t8	t9	t10	t11	t12	t13	t14
----	----	----	----	----	----	----	----	----	-----	-----	-----	-----	-----

vote:

<i>і1</i>													
-----------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

Raft Log

index:

<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>	<i>6</i>	<i>7</i>	<i>8</i>						
<i>t1</i>	<i>t1</i>	<i>t1</i>	...	...	...	...	...	
<i>H</i>	<i>i</i>	<i>g</i>	<i>h</i>	<i>L</i>	<i>o</i>	<i>a</i>	<i>d</i>						



i1: «Заперсистьте!»

Raft State

raft_id

i1

Terms



term:	t1	t2	t3	t4	t5	t6	t7	t8	t9	t10	t11	t12	t13	t14
vote:	<i>i1</i>													

Raft Log

index:	<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>	<i>6</i>	<i>7</i>	<i>8</i>						
term:	<i>t1</i>	<i>t1</i>	<i>t1</i>	...	...	...	...	...	
value:	<i>H</i>	<i>i</i>	<i>g</i>	<i>h</i>	<i>L</i>	<i>o</i>	<i>a</i>	<i>d</i>						
applied:														

AppendEntriesRPC

term:	<i>t1</i>
leaderId:	<i>i1</i>
index:	<i>1</i> | <i>2</i> | <i>3</i> | <i>4</i>
value:	<i>H</i> | <i>i</i> | <i>g</i> | <i>h</i>
leaderCommit:	<i>0</i>

Response

	<i>i1</i>	<i>i2</i>	<i>i3</i>	<i>i4</i>	<i>i5</i>	<i>i6</i>	<i>i7</i>	<i>i8</i>
ok	✓							

i2-i8: «OK»



14

AppendEntriesRPC

term:	<i>t1</i>
leaderId:	<i>i1</i>
index:	<i>1</i> | <i>2</i> | <i>3</i> | <i>4</i>
value:	<i>H</i> | <i>i</i> | <i>g</i> | <i>h</i>
leaderCommit:	<i>0</i>

Response

	i1	i2	i3	i4	i5	i6	i7	i8
ok	✓	✓						

Raft State

raft_id

i2

Terms

term:	t1	t2	t3	t4	t5	t6	t7	t8	t9	t10	t11	t12	t13	t14
vote:	<i>i1</i>													

Raft Log


index:	<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>										
term:	<i>t1</i>	<i>t1</i>	<i>t1</i>	...										
value:	<i>H</i>	<i>i</i>	<i>g</i>	<i>h</i>										
applied:														

i1: «Отлично!»

Raft State

raft_id
<i>i1</i>

Terms



term:	t1	t2	t3	t4	t5	t6	t7	t8	t9	t10	t11	t12	t13	t14
vote:	<i>i1</i>													

Raft Log

index:	1	2	3	4	5	6	7	8						
term:	<i>t1</i>	<i>t1</i>	<i>t1</i>	...	...	...	...	...	
value:	<i>H</i>	<i>i</i>	<i>g</i>	<i>h</i>	<i>L</i>	<i>o</i>	<i>a</i>	<i>d</i>						
applied:	✓	✓	✓	✓										

AppendEntriesRPC

term:

t1

leaderId:

i1

index:

1 | 2 | 3 | 4

value:

H | i | g | h

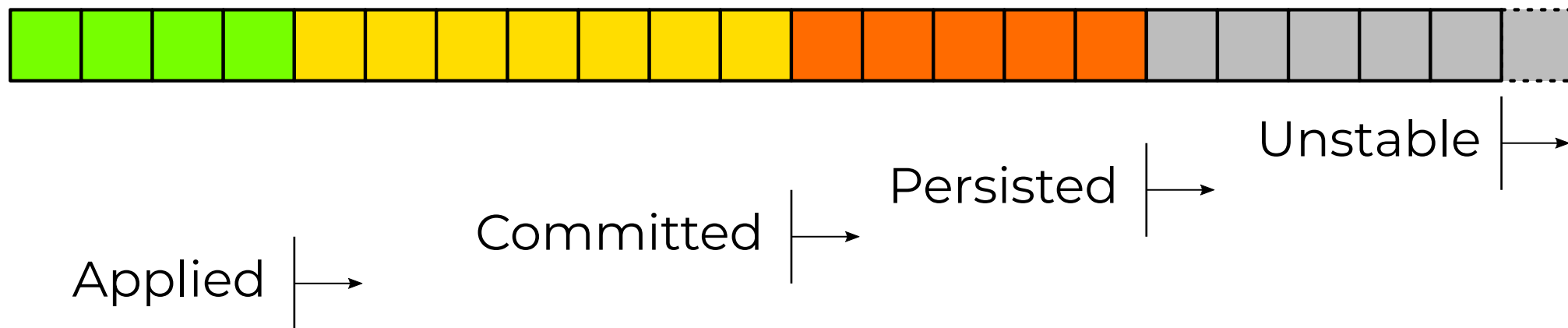
leaderCommit:

0

Response

	i1	i2	i3	i4	i5	i6	i7	i8
ok	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓

Состояние записей





i1: «Реплицируйтесь!»

Raft State

raft_id

i1

Terms



term:	t1	t2	t3	t4	t5	t6	t7	t8	t9	t10	t11	t12	t13	t14
vote:	<i>i1</i>													

Raft Log

index:	1	2	3	4	5	6	7	8						
term:	<i>t1</i>	<i>t1</i>	<i>t1</i>	...	...	...	...	...	
value:	<i>H</i>	<i>i</i>	<i>g</i>	<i>h</i>	<i>L</i>	<i>o</i>	<i>a</i>	<i>d</i>						
applied:	✓	✓	✓	✓										

AppendEntriesRPC

term:	<i>t1</i>
leaderId:	<i>i1</i>
index:	<i>5</i> | <i>6</i> | <i>7</i> | <i>8</i>
value:	<i>L</i> | <i>o</i> | <i>a</i> | <i>d</i>
leaderCommit:	<i>4</i>

Response

	<i>i1</i>	i2	i3	i4	i5	i6	i7	i8
ok	✓							



i2, i3, сохраняйте записи

AppendEntriesRPC

term:	<i>t1</i>
leaderId:	<i>i1</i>
index:	5 | 6 | 7 | 8
value:	L | o | a | d
leaderCommit:	4

Response

	i1	i2	i3	i4	i5	i6	i7	i8
ok	✓	✓						

Raft State

raft_id

i2

Terms

term:	t1	t2	t3	t4	t5	t6	t7	t8	t9	t10	t11	t12	t13	t14
vote:	<i>i1</i>													

Raft Log

index:	1	2	3	4	5	6	7	8						
term:	<i>t1</i>	<i>t1</i>	<i>t1</i>	...	...	...	...			
value:	H	i	g	h	L	o	a	d						
applied:	✓	✓	✓	✓										

i4, "потеряйте" сообщение

AppendEntriesRPC

term:

i1

leaderId:

i1

index:

5 | 6 | 7 | 8

value:

L | o | a | d

leaderCommit:

4

Response

	i1	i2	i3	i4	i5	i6	i7	i8
ok	✓	✓	✓					

Raft State

raft_id

i4

Terms

term:	t1	t2	t3	t4	t5	t6	t7	t8	t9	t10	t11	t12	t13	t14
vote:	i1													

Raft Log

index:	1	2	3	4										
term:	t1	t1	t1	...										
value:	H	i	g	h										
applied:														

Терм без лидера

Игра 3



i4 и i7, вы offline

Переверните ваши листки



i8, начинайте выборы

Raft State

raft_id

i8

Terms

term:	t1	t2	t3	t4	t5	t6	t7	t8	t9	t10	t11	t12	t13	t14
vote:	<i>i1</i>	<i>i8</i>												

Raft Log

index:	1	2	3	4										
term:	<i>t1</i>	<i>t1</i>	<i>t1</i>	...										
value:	<i>H</i>	<i>i</i>	<i>g</i>	<i>h</i>										
applied:														

RequestVoteRPC

term:	<i>t2</i>
candidateId:	<i>i8</i>
lastLogIndex:	<i>4</i>
lastLogTerm:	<i>t1</i>

Response

	i1	i2	i3	i4	i5	i6	i7	i8
ok								✓



i2, i3: «He-a»

RequestVoteRPC

term:	<i>t2</i>
candidateId:	<i>i8</i>
lastLogIndex:	<i>4</i>
lastLogTerm:	<i>t1</i>

Response

	i1	i2	i3	i4	i5	i6	i7	i8
ok		X						✓

S may only vote for L if:
 $L.lastLogTerm > S.lastLogTerm$ or
 $(L.lastLogTerm == S.lastLogTerm \text{ and } L.lastLogIndex \geq S.lastLogIndex)$

Raft State

raft_id

i2

Terms

term:	t1	t2	t3	t4	t5	t6	t7	t8	t9	t10	t11	t12	t13	t14
vote:	i1	-												

Raft Log

index:	1	2	3	4	5	6	7	8						
term:	t1	t1	t1	...	...	...	...	...	
value:	H	i	g	h	L	o	a	d						
applied:	✓	✓	✓	✓										

i8: «😓»



23

Raft State

raft_id

i8

Terms

term:	t1	t2	t3	t4	t5	t6	t7	t8	t9	t10	t11	t12	t13	t14
vote:	<i>i1</i>	<i>i8</i>												

Raft Log

index:	<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>										
term:	<i>t1</i>	<i>t1</i>	<i>t1</i>	...										
value:	<i>H</i>	<i>i</i>	<i>g</i>	<i>h</i>										
applied:														

RequestVoteRPC

term:	<i>t2</i>
candidateId:	<i>i8</i>
lastLogIndex:	<i>4</i>
lastLogTerm:	<i>t1</i>

Response

	i1	i2	i3	i4	i5	i6	i7	i8
ok		X	X		✓	✓	✓	✓

Перезапись журнала

Игра 4



it все еще offline

Потерпите, через 4 слайда вернетесь.



i4, начинайте выборы

Raft State

raft_id

i4

Terms

term:	t1	t2	t3	t4	t5	t6	t7	t8	t9	t10	t11	t12	t13	t14
vote:	<i>i1</i>	-	<i>i4</i>											

Raft Log

index:	1	2	3	4										
term:	<i>t1</i>	<i>t1</i>	<i>t1</i>	...										
value:	<i>H</i>	<i>i</i>	<i>g</i>	<i>h</i>										
applied:														

RequestVoteRPC

term:	<i>t3</i>
candidateId:	<i>i4</i>
lastLogIndex:	<i>4</i>
lastLogTerm:	<i>t1</i>

Response

	i1	i2	i3	i4	i5	i6	i7	i8
ok				✓				



Вжух, и i4 — лидер

Raft State

raft_id

i4

Terms

term:	t1	t2	t3	t4	t5	t6	t7	t8	t9	t10	t11	t12	t13	t14
vote:	<i>i1</i>	—	<i>i4</i>											

Raft Log

index:	<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>										
term:	<i>t1</i>	<i>t1</i>	<i>t1</i>	...										
value:	<i>H</i>	<i>i</i>	<i>g</i>	<i>h</i>										
applied:														

RequestVoteRPC

term:	<i>t3</i>
candidateId:	<i>i4</i>
lastLogIndex:	<i>4</i>
lastLogTerm:	<i>t1</i>

Response

	i1	i2	i3	i4	i5	i6	i7	i8
ok		X	X	✓	✓	✓	✓	✓



i4, заполняйте raft-журнал

Raft State

raft_id

i4

Terms



term:	t1	t2	t3	t4	t5	t6	t7	t8	t9	t10	t11	t12	t13	t14
vote:	<i>i1</i>	-	<i>i4</i>											

Raft Log

index:	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12		
term:	<i>t1</i>	<i>t1</i>	<i>t1</i>	...	<i>t3</i>	<i>t3</i>	<i>t3</i>	...	...	...	...	...
value:	<i>H</i>	<i>i</i>	<i>g</i>	<i>h</i>	␣	<i>v</i>	<i>o</i>	<i>l</i>	<i>t</i>	<i>a</i>	<i>g</i>	<i>e</i>		
applied:														

AppendEntriesRPC

term:	<i>t3</i>
leaderId:	<i>i4</i>
index:	5 | 6 | 7 | 8
value:	␣ | <i>v</i> | <i>o</i> | <i>l</i>
leaderCommit:	<i>0</i>

Response

	i1	i2	i3	i4	i5	i6	i7	i8
ok				✓				



i5-i8, обработайте запрос

AppendEntriesRPC

term:	<i>t3</i>
leaderId:	<i>i4</i>
index:	<i>5</i> | <i>6</i> | <i>7</i> | <i>8</i>
value:	␣ | <i>v</i> | <i>o</i> | <i>l</i>
leaderCommit:	<i>0</i>

Response

	i1	i2	i3	i4	i5	i6	i7	i8
ok				✓	✓			

Raft State

raft_id

i5

Terms

term:	t1	t2	t3	t4	t5	t6	t7	t8	t9	t10	t11	t12	t13	t14
vote:	<i>i1</i>	—	<i>i4</i>											

Raft Log

index:	<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>	<i>6</i>	<i>7</i>	<i>8</i>						
term:	<i>t1</i>	<i>t1</i>	<i>t1</i>	...	<i>t3</i>	<i>t3</i>	<i>t3</i>	...						
value:	<i>H</i>	<i>i</i>	<i>g</i>	<i>h</i>	␣	<i>v</i>	<i>o</i>	<i>l</i>						
applied:	✓	✓	✓	✓										



i1, возвращайтесь онлайн

AppendEntriesRPC

term:	t3
leaderId:	i4
index:	5 | 6 | 7 | 8
value:	␣ | v | o | l
leaderCommit:	0

Response

	i1	i2	i3	i4	i5	i6	i7	i8
ok	✓			✓	✓	✓	✓	✓

Raft State

raft_id
i1

Terms



term:	t1	t2	t3	t4	t5	t6	t7	t8	t9	t10	t11	t12	t13	t14
vote:	i1	—	—											

Raft Log

index:	1	2	3	4	5	6	7	8	5	6	7	8		
term:	t1	t1	t1	...	..	..	..	..	t3	t3	t3	...		
value:	H	i	g	h	L	o	a	d	␣	v	o	l		
applied:	✓	✓	✓	✓										



i4 получает ответ

Raft State

raft_id

i4

Terms

term:	t1	t2	t3	t4	t5	t6	t7	t8	t9	t10	t11	t12	t13	t14
vote:	<i>i1</i>	-	<i>i4</i>											

Raft Log

index:	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12		
term:	<i>t1</i>	t1	t1	...	<i>t3</i>	t3	t3	...	...	...	...	...
value:	H	i	g	h	␣	v	o	l	t	a	g	e		
applied:	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓						

AppendEntriesRPC

term:	<i>t3</i>
leaderId:	<i>i4</i>
index:	5 | 6 | 7 | 8
value:	␣ | v | o | l
leaderCommit:	0

Response

	i1	i2	i3	i4	i5	i6	i7	i8
ok	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓

Факультатив

- Динамическое изменение топологии
- Pre-vote
- Снапшоты

Материалы

Слайды:

- Online: <https://rosik.github.io/2023-highload>
- PDF: [slides.pdf](#)
- Раздатка: [form.pdf](#)

Picodata: <https://picodata.io/>, [@picodataru](#)

Raft: <https://raft.github.io/>

Обратная связь:



<https://conf.ontico.ru/online/shl2023/details/4937163>

