

Gegenseitiger Ausschluss

Motivation

Grundlagen

Maekawa-Algorithmus



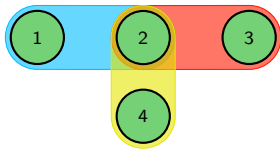
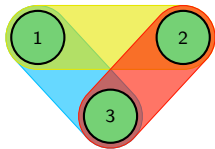
- Problemstellung
 - Zugriff auf gemeinsame Ressourcen durch mehrere Knoten
 - Koordinierung des Eintritts in einen *kritischen Abschnitt*
 - Zu keinem Zeitpunkt darf mehr als ein Knoten die Eintrittserlaubnis haben
- Zusätzliche Anforderungen in der Praxis (Beispiele)
 - Fairness bei der Erteilung der Eintrittserlaubnis
 - Tolerierung von Knotenfehlern
 - Effiziente Nutzung des Netzwerks
 - Geringe Koordinierungsverzögerung zwischen
 - Zeitpunkt der Freigabe des kritischen Abschnitts durch einen Knoten und
 - Zeitpunkt des Betretens des Abschnitts durch einen anderen Knoten
- Herausforderungen
 - Wie lässt sich gegenseitiger Ausschluss in einem verteilten System erzielen?
 - Wie kann die erforderliche Anzahl an Nachrichten klein gehalten werden?



- Nutzung eines zentralen Koordinators
 - Erteilung von Eintrittserlaubnissen durch einen separaten Dienst
 - Bei Bedarf: Replikation des zentralen Koordinators
- Tokenbasierte Algorithmen
 - Eintrittserlaubnis wird durch eine Marke (*Token*) repräsentiert
 - Problem: Wie kommt ein eintrittswilliger Knoten in den Besitz der Marke?
- Vollständig verteilte Algorithmen
 - Einholen der Erlaubnisse aller Knoten des verteilten Systems
 - Beispiel: Lock-Protokoll von Lamport [Siehe 6. Übungsaufgabe.]
- Quorenbasierte Algorithmen
 - Dezentraler Ansatz mit reduziertem Kommunikationsaufwand
 - Einholen der Erlaubnisse einer Untermenge von Knoten
 - Beispiel: Maekawa-Algorithmus



- Charakteristika eines Quorensystems
 - Menge von Knotenmengen („Quoren“)
 - Quoren überschneiden sich paarweise in mindestens einem Element
- Varianten und Spezialfälle
 - Zentraler Koordinator
 - Einzelnes Quorum mit allen Knoten
 - Alle Untermengen mit mehr als der Hälfte aller Knoten (*Mehrheitsquoren*)
 - Gewichtete Mehrheitsquoren
 - Jedem Knoten i wird ein Gewicht G_i zugewiesen
 - Gesamtgewicht aller Knoten $G_{total} := \sum_i G_i$
 - Quoren: Alle Knotenmengen mit Gewicht $G_{quorum} > \frac{G_{total}}{2}$



- Grundansatz
 - Dezentraler Algorithmus zum gegenseitigen Ausschluss von N Knoten
 - Minimierung des Kommunikationsaufwands durch Nutzung von Quoren
 - Einsatz total geordneter Zeitstempel aus Knoten-ID und Sequenznummer
 - Automatisierte Erkennung und Auflösung von Verklemmungen
 - Nachrichtenaufwand pro kritischem Abschnitt bei Quorengröße $|S|$
 - $3(|S| - 1)$ Normalfall
 - $4(|S| - 1)$ Günstiger Konfliktfall
 - $5(|S| - 1)$ Ungünstigster Fall
- $O(\sqrt{N})$ Nachrichten

- Literatur



Mamoru Maekawa

A \sqrt{N} algorithm for mutual exclusion in decentralized systems

ACM Transactions on Computer Systems, 3(2):145–159, 1985.



■ Nachrichten

Nachrichtentyp	Beschreibung
<u>R</u> EQUEST	Anforderung zum Eintritt in den kritischen Abschnitt
<u>L</u> OCKED	Eintrittserlaubnis für den kritischen Abschnitt
<u>R</u> ELI <u>A</u> SE	Freigabe des kritischen Abschnitts
<u>F</u> AILED	Ablehnung einer Anforderung
<u>I</u> N <u>Q</u> UIRE	Bitte um die Rückgabe einer Erlaubnis
<u>R</u> ELI <u>Q</u> UISH	Rückgabe einer Erlaubnis

■ Datenstrukturen eines Knotens i

- Anforderungsmenge Anforderungen, die i bekannt sind
- Anforderungsquorum Knoten, die i selbst um Erlaubnis fragen muss
- Erlaubnismenge Knoten, die i eine Erlaubnis gesendet haben
- Belegungskennung Lokale Sicht von i auf den kritischen Abschnitt
 - „Belegt von j “ falls i eine Erlaubnis an Knoten j gesendet hat
 - „Frei“ sonst

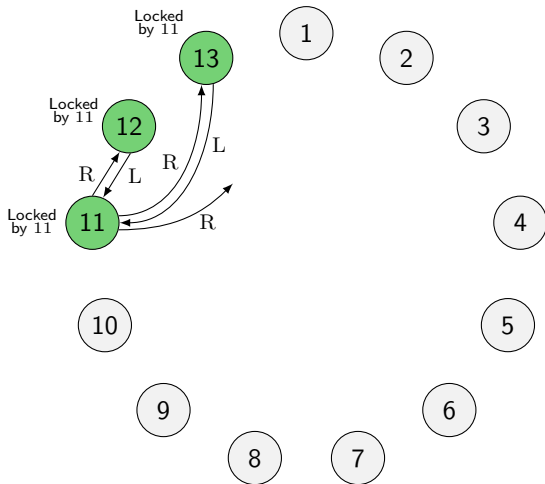


Anforderung und Freigabe des kritischen Abschnitts

- Versand einer Anforderung $\langle \text{REQUEST}, i, t \rangle$ durch Knoten i
 - $t := (i, s)$: Tupel aus Knoten-ID und lokaler Sequenznummer
 - Empfänger: Alle Knoten des Anforderungsquorums S_i
- Empfang einer Anforderung $\langle \text{REQUEST}, i, t \rangle$ durch Knoten j
 - R1. Hinzufügen der REQUEST zur Anforderungsmenge
 - R2. Überprüfung der Belegungskennung
 - „Frei“: Wechsel zu „Belegt von i_t “ und Senden von $\langle \text{LOCKED}, j, t \rangle$ an i
 - „Belegt von $k_{t'}$ “: Verzögertes Senden der Erlaubnis [Siehe Folie 10–9.]
- Empfang einer Erlaubnis $\langle \text{LOCKED}, j, t \rangle$ durch Knoten i
 - L1. Hinzufügen von Knoten j zur Erlaubnismenge E_i
 - L2. Betreten des kritischen Abschnitts, falls $|E_i| = |S_i|$
- Freigabe: $E_i := \emptyset$ und Senden von $\langle \text{RELEASE}, i, t \rangle$ an alle Knoten in S_i
- Empfang einer Freigabe $\langle \text{RELEASE}, i, t \rangle$ durch Knoten j
 - S1. Entfernen der zugehörigen Anforderung aus der Anforderungsmenge A_j
 - S2. Bearbeitung der ältesten Anforderung aus A_j [Siehe Schritt R2.]



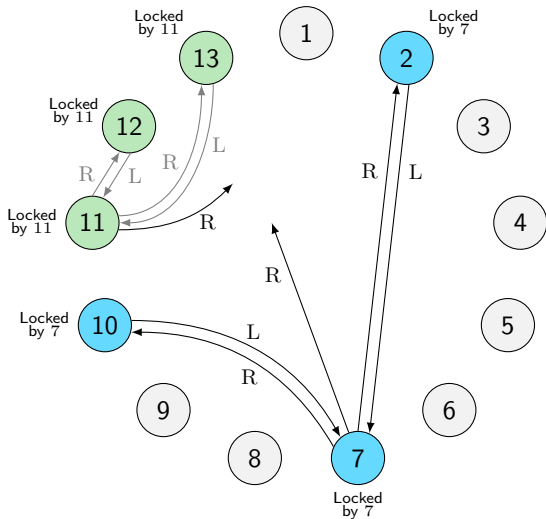
Beispiel



S_1	1	2	3	4
S_2	2	5	8	11
S_3	3	6	8	13
S_4	4	6	10	11
S_5	1	5	6	7
S_6	2	6	9	12
S_7	2	7	10	13
S_8	1	8	9	10
S_9	3	7	9	11
S_{10}	3	5	10	12
S_{11}	1	11	12	13
S_{12}	4	7	8	12
S_{13}	4	5	9	13



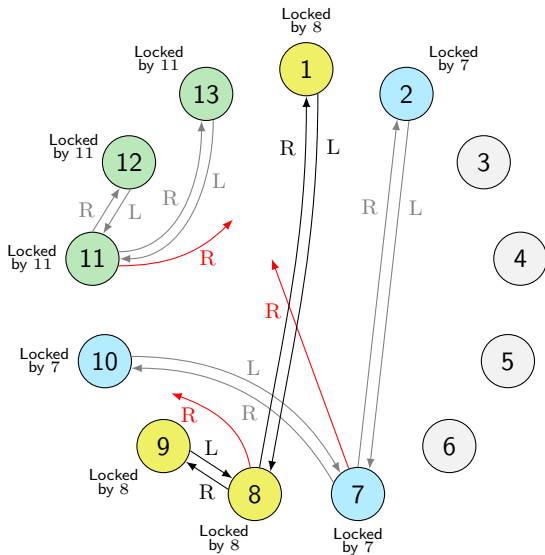
Beispiel



S_1	1	2	3	4
S_2	2	5	8	11
S_3	3	6	8	13
S_4	4	6	10	11
S_5	1	5	6	7
S_6	2	6	9	12
S_7	2	7	10	13
S_8	1	8	9	10
S_9	3	7	9	11
S_{10}	3	5	10	12
S_{11}	1	11	12	13
S_{12}	4	7	8	12
S_{13}	4	5	9	13



Beispiel



S_1	1	2	3	4
S_2	2	5	8	11
S_3	3	6	8	13
S_4	4	6	10	11
S_5	1	5	6	7
S_6	2	6	9	12
S_7	2	7	10	13
S_8	1	8	9	10
S_9	3	7	9	11
S_{10}	3	5	10	12
S_{11}	1	11	12	13
S_{12}	4	7	8	12
S_{13}	4	5	9	13



- Empfang einer Anforderung $\langle \text{REQUEST}, i, t \rangle$ durch Knoten j
 - Annahme: Belegungskennung von Knoten j ist „Belegt von $k_{t'}$ “
 - Vorgehensweise
 - Senden von $\langle \text{INQUIRE}, j, t' \rangle$ an k falls $\langle \text{REQUEST}, i, t \rangle$ älteste Anforderung
 - Senden von $\langle \text{FAILED}, j, t \rangle$ an i sonst

- Empfang von $\langle \text{INQUIRE}, j, t' \rangle$ durch Knoten k
 - Falls k zuvor ein $\langle \text{FAILED}, x, t \rangle$ von einem Knoten x empfangen hat
 - Ia1. Entfernen von Knoten j aus der Erlaubnismenge
 - Ia2. Senden von $\langle \text{RELINQUISH}, k, t' \rangle$ an Knoten j
 - Sonst
 - Ib1. Speicherung der INQUIRE-Nachricht
 - Ib2. Ausführung der Schritte Ia1 und Ia2 bei Empfang von $\langle \text{FAILED}, x, t \rangle$

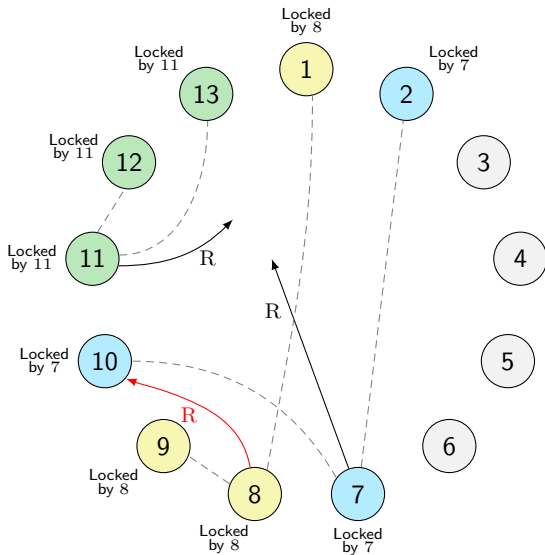


- Empfang einer Rückgabe $\langle \text{RELINQUISH}, k, t' \rangle$ durch Knoten j
 - Q1. Löschen der bisherigen Belegungskennung „Belegt von k_t “
 - Q2. Aktualisierung der Belegungskennung
 - Annahme: $\langle \text{REQUEST}, i, t \rangle$ ist ältestes Element in der Anforderungsmenge
 - Neue Belegungskennung: „Belegt von i_t “
 - Q3. Senden der Erlaubnis $\langle \text{LOCKED}, j, t \rangle$ an Knoten i

- Empfang einer Ablehnung $\langle \text{FAILED}, j, t \rangle$ durch Knoten i
 - Falls i zuvor ein $\langle \text{INQUIRE}, x, t \rangle$ empfangen hat
 - Fa1. Entfernen von Knoten x aus der Erlaubnismenge
 - Fa2. Senden von $\langle \text{RELINQUISH}, i, t' \rangle$ an Knoten x
 - Sonst
 - Fb1. Speicherung der FAILED-Nachricht
 - Fb2. Ausführung der Schritte Fa1 und Fa2 bei Empfang von $\langle \text{INQUIRE}, x, t \rangle$



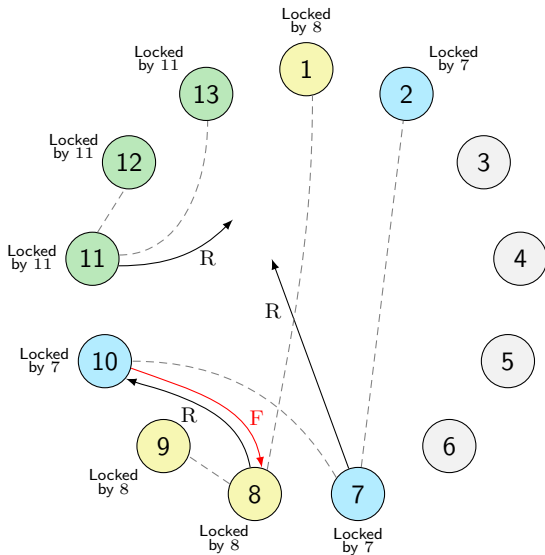
Beispiel



S_1	1	2	3	4
S_2	2	5	8	11
S_3	3	6	8	13
S_4	4	6	10	11
S_5	1	5	6	7
S_6	2	6	9	12
S_7	2	7	10	13
S_8	1	8	9	10
S_9	3	7	9	11
S_{10}	3	5	10	12
S_{11}	1	11	12	13
S_{12}	4	7	8	12
S_{13}	4	5	9	13



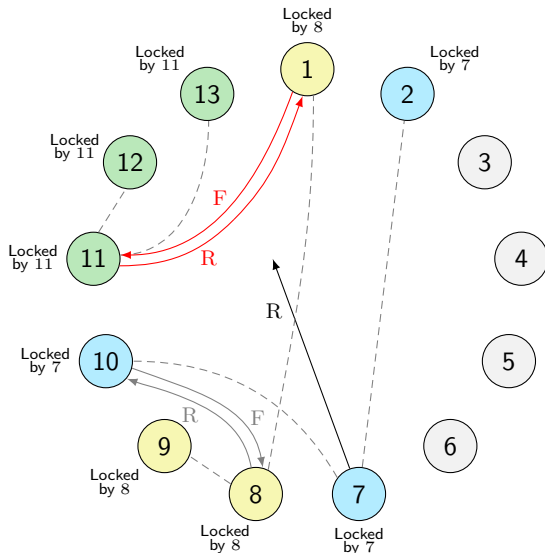
Beispiel



S_1	1	2	3	4
S_2	2	5	8	11
S_3	3	6	8	13
S_4	4	6	10	11
S_5	1	5	6	7
S_6	2	6	9	12
S_7	2	7	10	13
S_8	1	8	9	10
S_9	3	7	9	11
S_{10}	3	5	10	12
S_{11}	1	11	12	13
S_{12}	4	7	8	12
S_{13}	4	5	9	13



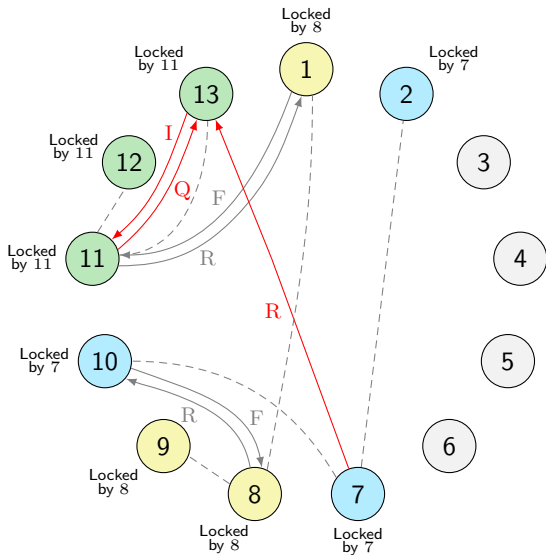
Beispiel



S ₁	1	2	3	4
S ₂	2	5	8	11
S ₃	3	6	8	13
S ₄	4	6	10	11
S ₅	1	5	6	7
S ₆	2	6	9	12
S ₇	2	7	10	13
S ₈	1	8	9	10
S ₉	3	7	9	11
S ₁₀	3	5	10	12
S ₁₁	1	11	12	13
S ₁₂	4	7	8	12
S ₁₃	4	5	9	13



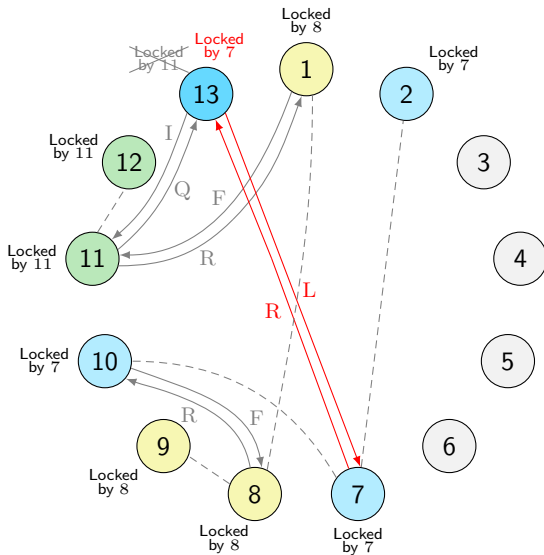
Beispiel



S_1	1	2	3	4
S_2	2	5	8	11
S_3	3	6	8	13
S_4	4	6	10	11
S_5	1	5	6	7
S_6	2	6	9	12
S_7	2	7	10	13
S_8	1	8	9	10
S_9	3	7	9	11
S_{10}	3	5	10	12
S_{11}	1	11	12	13
S_{12}	4	7	8	12
S_{13}	4	5	9	13



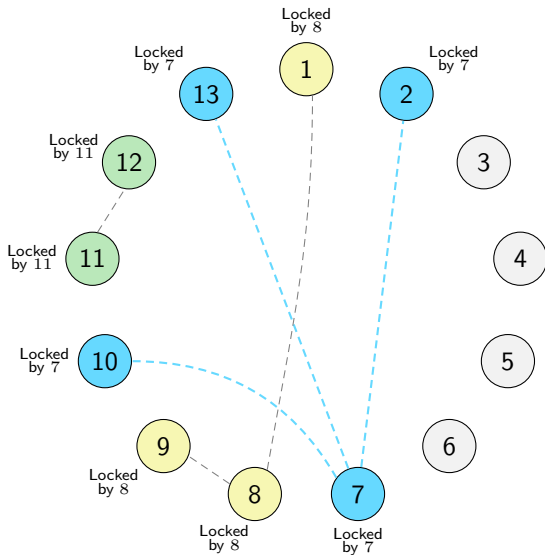
Beispiel



S_1	1	2	3	4
S_2	2	5	8	11
S_3	3	6	8	13
S_4	4	6	10	11
S_5	1	5	6	7
S_6	2	6	9	12
S_7	2	7	10	13
S_8	1	8	9	10
S_9	3	7	9	11
S_{10}	3	5	10	12
S_{11}	1	11	12	13
S_{12}	4	7	8	12
S_{13}	4	5	9	13



Beispiel



S_1	1	2	3	4
S_2	2	5	8	11
S_3	3	6	8	13
S_4	4	6	10	11
S_5	1	5	6	7
S_6	2	6	9	12
S_7	2	7	10	13
S_8	1	8	9	10
S_9	3	7	9	11
S_{10}	3	5	10	12
S_{11}	1	11	12	13
S_{12}	4	7	8	12
S_{13}	4	5	9	13

