Überblick

Gegenseitiger Ausschluss
- Motivation
- Grundlagen
- Maekawa-Algorithmus

Motivation

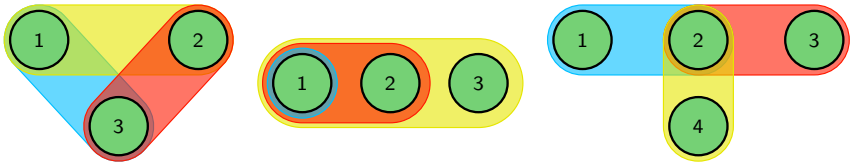
- Problemstellung
  - Zugriff auf gemeinsame Ressourcen durch mehrere Knoten
  - Koordinierung des Eintritts in einen *kritischen Abschnitt*
  - Zu keinem Zeitpunkt darf mehr als ein Knoten die Eintrittserlaubnis haben
- Zusätzliche Anforderungen in der Praxis (Beispiele)
  - Fairness bei der Erteilung 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?

Grundsätzliche Herangehensweisen

- 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

Quorensysteme

- 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 $G_{quorum} > \frac{G_{total}}{2}$



Maekawa-Algorithmus

- 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

  $\rightarrow$ $O(\sqrt{N})$ 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 und Datenstrukturen

- Nachrichten

Nachrichtentyp	Beschreibung
REQUEST	Anforderung zum Eintritt in den kritischen Abschnitt
LOCKED	Eintrittserlaubnis für den kritischen Abschnitt
RELEASE	Freigabe des kritischen Abschnitts
FAILED	Ablehnung einer Anforderung
INQUIRE	Bitte um die Rückgabe einer Erlaubnis
RELINQUISH	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

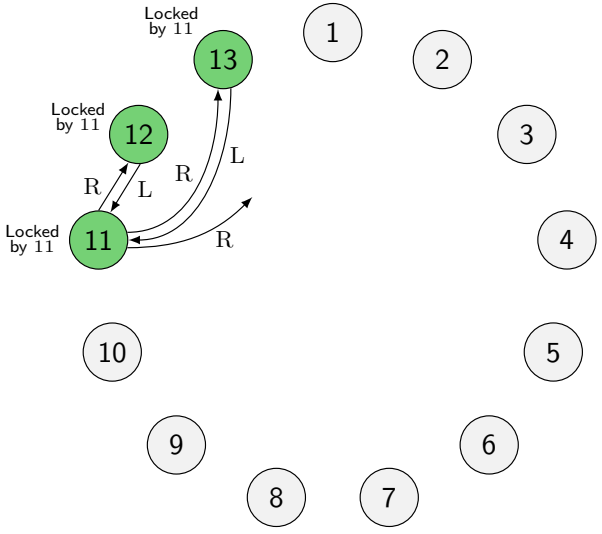
- Versand einer Anforderung $\langle \text{REQUEST}, i, t \rangle$ durch Knoten i
  - $t := (i, s)$: Tupel aus Knoten-ID und lokaler Sequenznummer
  - Empfänger: Alle Knoten des Anforderungsquorums S_i
- Empfang einer Anforderung $\langle \text{REQUEST}, i, t \rangle$ durch Knoten j

  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 11–9.]
- 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

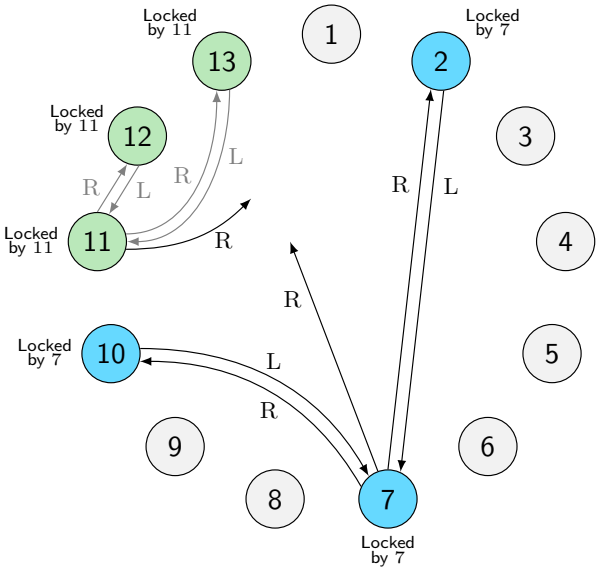
  S1. Entfernen der zugehörigen Anforderung aus der Anforderungsmenge A_j
  S2. Bearbeitung der ältesten Anforderung aus A_j [Siehe Schritt R2.]

Beispiel



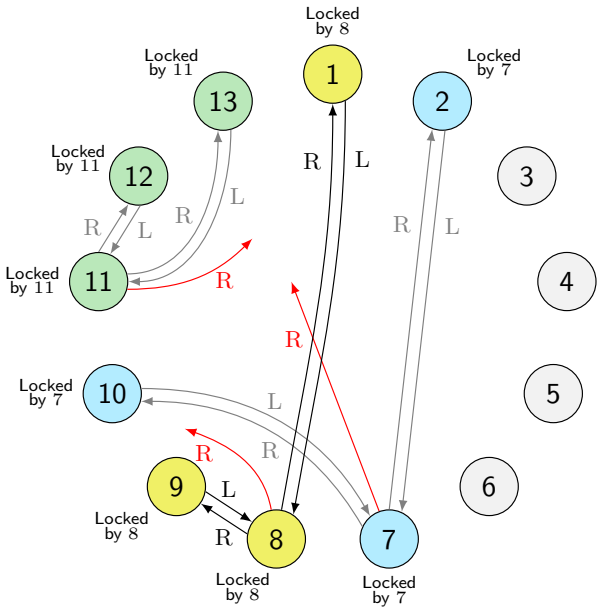
S_1	1	2	3	4
S_2	2	5	8	11
S_3	3	6	8	13
S_4	4	6	10	11
S_5	1	5	6	7
S_6	2	6	9	12
S_7	2	7	10	13
S_8	1	8	9	10
S_9	3	7	9	11
S_{10}	3	5	10	12
S_{11}	1	11	12	13
S_{12}	4	7	8	12
S_{13}	4	5	9	13

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

Erkennung und Auflösung von Verklemmungen

- Empfang einer Anforderung $\langle \textsc{Request}, i, t \rangle$ durch Knoten j
  - Annahme: Belegungskennung von Knoten j ist „Belegt von $k_{t'}$“
  - Vorgehensweise
    - Senden von $\langle \textsc{Inquire}, j, t' \rangle$ an k falls $\langle \textsc{Request}, i, t \rangle$ älteste Anforderung
    - Senden von $\langle \textsc{Failed}, j, t \rangle$ an i sonst
- Empfang von $\langle \textsc{Inquire}, j, t' \rangle$ durch Knoten k
  - Falls k zuvor ein $\langle \textsc{Failed}, x, t \rangle$ von einem Knoten x empfangen hat

    Ia1. Entfernen von Knoten j aus der Erlaubnismenge

    Ia2. Senden von $\langle \textsc{Relinquish}, k, t' \rangle$ an Knoten j
  - Sonst

    Ib1. Speicherung der $\textsc{Inquire}$-Nachricht

    Ib2. Ausführung der Schritte Ia1 und Ia2 bei Empfang von $\langle \textsc{Failed}, x, t \rangle$

Erkennung und Auflösung von Verklemmungen

- Empfang einer Rückgabe $\langle \textsc{Relinquish}, k, t' \rangle$ durch Knoten j

  Q1. Löschen der bisherigen Belegungskennung „Belegt von $k_{t'}$“

  Q2. Aktualisierung der Belegungskennung
  - Annahme: $\langle \textsc{Request}, i, t \rangle$ ist ältestes Element in der Anforderungsmenge
  - Neue Belegungskennung: „Belegt von i_t“

  Q3. Senden der Erlaubnis $\langle \textsc{Locked}, j, t \rangle$ an Knoten i
- Empfang einer Ablehnung $\langle \textsc{Failed}, j, t \rangle$ durch Knoten i
  - Falls i zuvor ein $\langle \textsc{Inquire}, x, t \rangle$ empfangen hat

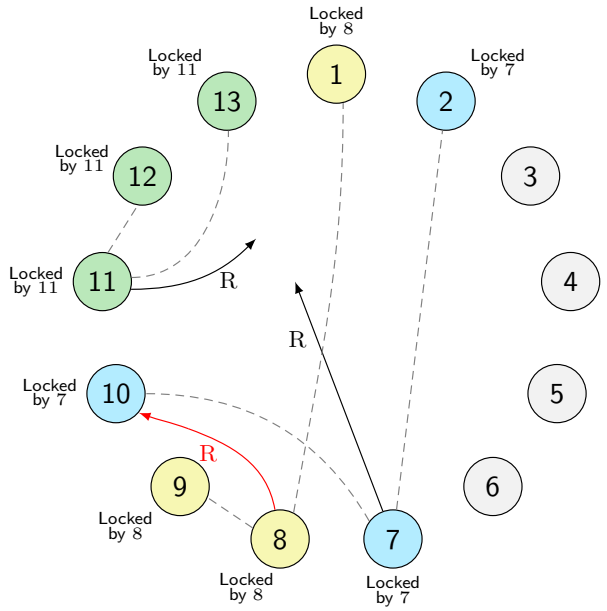
    Fa1. Entfernen von Knoten x aus der Erlaubnismenge

    Fa2. Senden von $\langle \textsc{Relinquish}, i, t' \rangle$ an Knoten x
  - Sonst

    Fb1. Speicherung der $\textsc{Failed}$-Nachricht

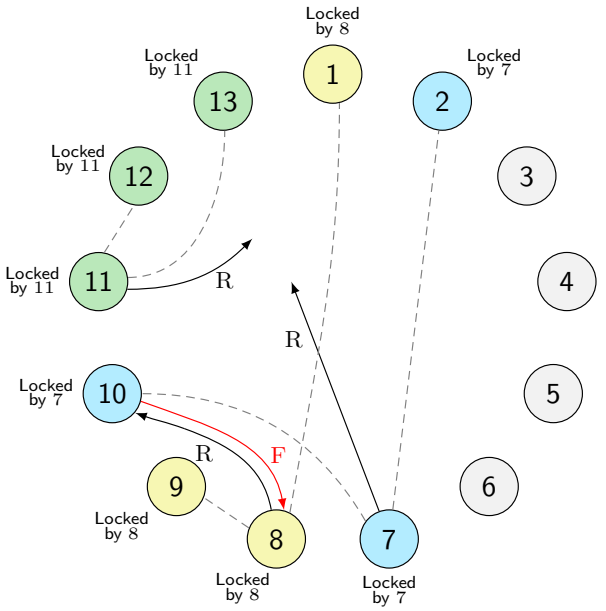
    Fb2. Ausführung der Schritte Fa1 und Fa2 bei Empfang von $\langle \textsc{Inquire}, x, t \rangle$

Beispiel



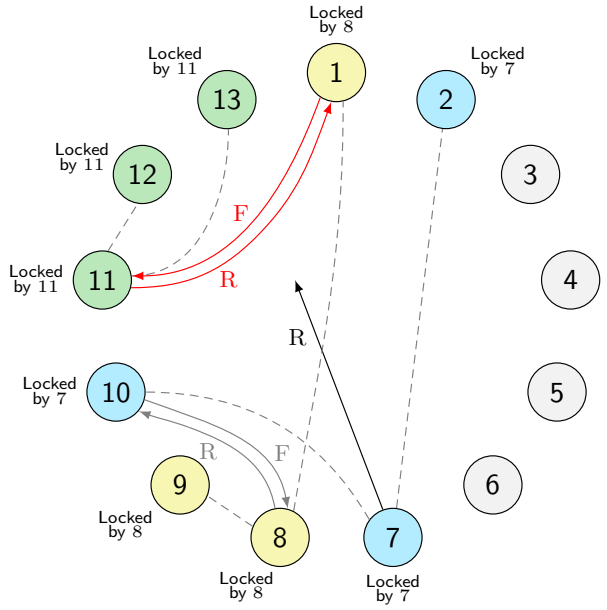
S_1	1	2	3	4
S_2	2	5	8	11
S_3	3	6	8	13
S_4	4	6	10	11
S_5	1	5	6	7
S_6	2	6	9	12
S_7	2	7	10	13
S_8	1	8	9	10
S_9	3	7	9	11
S_{10}	3	5	10	12
S_{11}	1	11	12	13
S_{12}	4	7	8	12
S_{13}	4	5	9	13

Beispiel



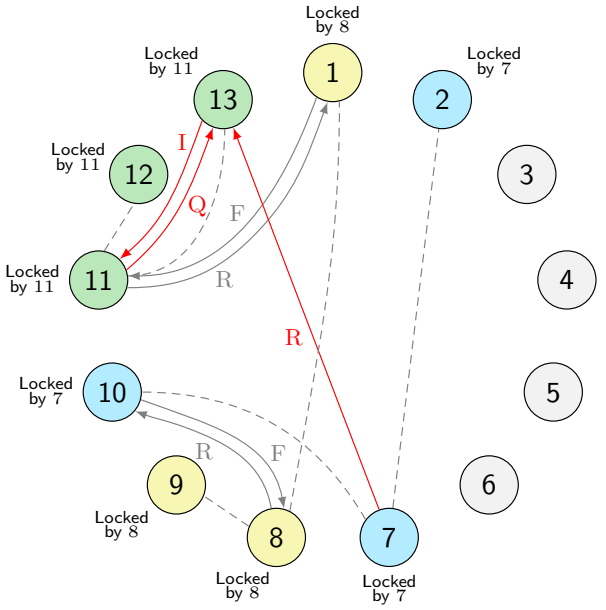
S_1	1	2	3	4
S_2	2	5	8	11
S_3	3	6	8	13
S_4	4	6	10	11
S_5	1	5	6	7
S_6	2	6	9	12
S_7	2	7	10	13
S_8	1	8	9	10
S_9	3	7	9	11
S_{10}	3	5	10	12
S_{11}	1	11	12	13
S_{12}	4	7	8	12
S_{13}	4	5	9	13

Beispiel



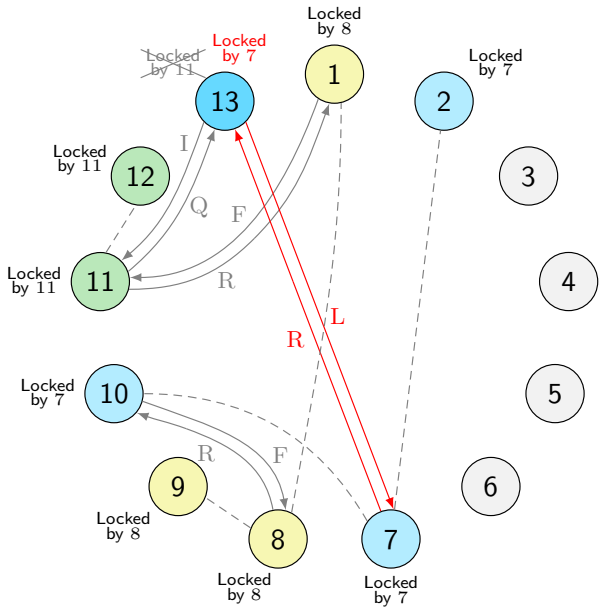
S_1	1	2	3	4
S_2	2	5	8	11
S_3	3	6	8	13
S_4	4	6	10	11
S_5	1	5	6	7
S_6	2	6	9	12
S_7	2	7	10	13
S_8	1	8	9	10
S_9	3	7	9	11
S_{10}	3	5	10	12
S_{11}	1	11	12	13
S_{12}	4	7	8	12
S_{13}	4	5	9	13

Beispiel



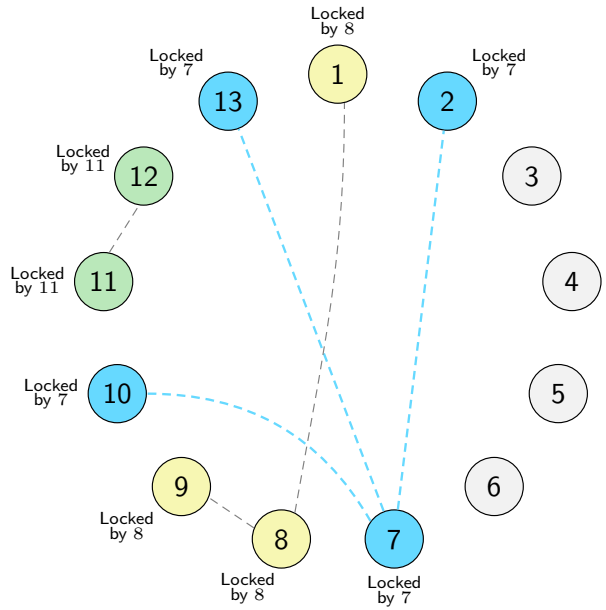
S_1	1	2	3	4
S_2	2	5	8	11
S_3	3	6	8	13
S_4	4	6	10	11
S_5	1	5	6	7
S_6	2	6	9	12
S_7	2	7	10	13
S_8	1	8	9	10
S_9	3	7	9	11
S_{10}	3	5	10	12
S_{11}	1	11	12	13
S_{12}	4	7	8	12
S_{13}	4	5	9	13

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