

10 Multicast

10.1 Motivation

10.2 Grundlagen

10.3 Zustellungsgarantien



- Fehlertoleranz durch Replikation [Siehe Vorlesung zu FT-CORBA]
 - Redundante Applikationsinstanzen auf unterschiedlichen Rechnern
 - Problemstellung: Replikatzustände müssen konsistent gehalten werden
 - Aktive Replikation
 - Einsatz von gleichberechtigten, deterministischen Replikaten
 - Jedes Replikat führt alle Anfragen aus
 - Konsistenz durch Erstellung einer totalen Ordnung auf alle Anfragen
 - Passive Replikation [Beispiel hier: Warm passive]
 - Bestimmung eines Master-Replikats, das als einziges Anfragen ausführt
 - Aktualisierung der anderen Replikate mittels Zustandsänderungen
 - Konsistenz durch Einhaltung der Reihenfolge der Zustandsänderungen
- ⇒ **Unabhängig von der Replikationsart: Mechanismus zum Senden von Nachrichten an die gesamte Replikatgruppe erforderlich**



- Multicast-Unterstützung durch das Kommunikationssystem
 - Vorteil: Geringere Komplexität der Replikations-/Anwendungsschicht
 - Beispiel: Teil eines Gruppenkommunikationssystems
 - Implementierungsvarianten
 - Auf Basis spezieller Netzwerkmechanismen (z. B. IP-Multicast) [Hier nicht betrachtet]
 - Mit Hilfe von Punkt-zu-Punkt-Verbindungen
- Herausforderungen
 - Zuverlässige Zustellung von Nachrichten trotz Fehlern
 - Bereitstellung von Ordnungsgarantien
 - Beweisbarkeit zugesicherter Eigenschaften
- Literatur
 - Christian Cachin, Rachid Guerraoui, and Luís Rodrigues
Introduction to Reliable and Secure Distributed Programming (2nd ed.)
Springer, 2011.



- Unterschiede zu Broadcast
 - Sender kennt die Empfänger seiner Nachricht
 - Explizite Anmeldung bei Eintritt in eine Multicast-Gruppe erforderlich
- Zentrale Operationen eines Kommunikationssystems
 - Senden (multicast)
 - Anwendung übergibt Nachricht an das Kommunikationssystem
 - Nachricht enthält Adressen aller designierten Empfänger
 - Ausliefern (deliver)
 - Kommunikationssystem übergibt Nachricht an die Anwendung
 - Einmal ausgelieferte Nachricht kann nicht zurückgenommen werden
- *Knoten*: Teilnehmer an einer Multicast-Gruppe
 - Übliche Synonyme: Prozess, Rechner, Prozessor,...
 - Im Folgenden: Unterscheidung im Kontext von Fehlern
 - *Fehlerhaft*: Knoten, der während der Beobachtungsphase ausfällt
 - *Korrekt*: Knoten, der nicht fehlerhaft ist



Erkennung von Fehlern

- Grundansatz zur Realisierung von Fehlerdetektoren
 - Austausch von Heartbeat-Nachrichten zwischen Knoten
 - Überwachung der Heartbeat-Nachrichten mittels Timeouts
 - Auswertung des Ausbleibens von Heartbeat-Nachrichten
- Problem: Genauigkeit der Fehlererkennung
 - Synchrone Systeme
 - Bekannte obere Schranken für Ausführungs- und Übertragungszeiten
 - Ausbleiben einer Heartbeat-Nachricht ist Beleg für einen Fehler
 - Präzise Fehlererkennung möglich
 - Asynchrone Systeme
 - Keine oberen Schranken für Ausführungs- und Übertragungszeiten
 - Ausbleiben einer Heartbeat-Nachricht ist allenfalls Hinweis auf einen Fehler
 - Keine präzise Fehlererkennung möglich

⇒ **Die {Nicht-,}Verfügbarkeit eines Fehlerdetektors hat im Allgemeinen Einfluss auf das Design von Algorithmen** [Siehe später...]



Fair-Loss-Punkt-zu-Punkt-Verbindung

- Grundidee
 - Modell einer unzuverlässigen Netzwerkverbindung zwischen zwei Knoten
 - Ausgangsbasis für die Modellierung komplexerer Verbindungen
- Eigenschaften
 - **Faire Verluste:** Eine von einem korrekten Knoten unendlich oft gesendete Nachricht wird vom Empfänger unendlich oft ausgeliefert
 - **Endliche Vervielfachung:** Eine von einem korrekten Knoten endlich oft gesendete Nachricht wird vom Empfänger endlich oft ausgeliefert
 - **Keine Erzeugung:** Nur gesendete Nachrichten werden ausgeliefert
- Bemerkungen
 - Einschränkende, aber realistische Annahmen über Unzuverlässigkeit
 - Betrachtung temporär, gutmütiger Netzwerkfehler
 - Keine dauerhafte Netzwerkpartitionierung zwischen Sender und Empfänger
 - Wahrscheinlichkeit, dass eine gesendete Nachricht ausgeliefert wird, ist > 0



Perfekte Punkt-zu-Punkt-Verbindung

- Eigenschaften
 - **Zuverlässige Auslieferung:** Falls Sender und Empfänger einer Nachricht korrekt sind, liefert der Empfänger die Nachricht letztendlich aus
 - **Keine Vervielfachung:** Eine Nachricht wird maximal einmal ausgeliefert
 - **Keine Erzeugung:** Nur gesendete Nachrichten werden ausgeliefert
- Realisierung
 - Ausgangsbasis: Fair-Loss-Punkt-zu-Punkt-Verbindung
 - Sendeseite
 - Wiederholte Übertragung einer zu sendenden Nachricht
 - Pausen zwischen einzelnen Übertragungen
 - Empfangsseite
 - Protokoll über bereits ausgelieferte Nachrichten
 - Erkennung und Unterdrückung von Duplikaten

⇒ **Baustein für Multicast-Implementierungen**



Best-Effort-Multicast

Eigenschaften

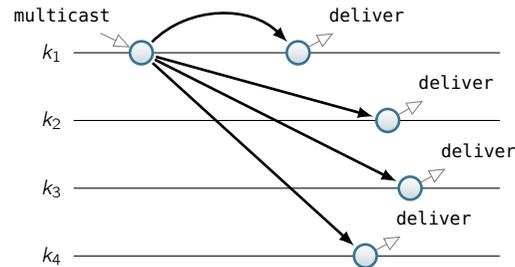
- Eigenschaften
 - **Gültigkeit:** Falls ein korrekter Knoten eine Nachricht n sendet, dann liefert jeder korrekte Knoten n letztendlich aus
 - **Keine Vervielfachung:** Eine Nachricht wird maximal einmal ausgeliefert
 - **Keine Erzeugung:** Falls ein Knoten die Nachricht n eines Senders k ausliefert, wurde n auch zuvor von Knoten k gesendet
- Bemerkungen
 - Vergleiche: Eigenschaften einer perfekten Punkt-zu-Punkt-Verbindung
 - Keine Aussagen über
 - Nachrichten, die von fehlerhaften Knoten gesendet wurden
 - das Ausliefern von Nachrichten auf fehlerhaften Knoten
 - Es kann von fehlerhaften Knoten gesendete Nachrichten geben, die nur von einem Teil der korrekten Knoten ausgeliefert werden

⇒ **Im Fehlerfall: Inkonsistenz zwischen korrekten Knoten möglich**



■ Realisierung

- Einsatz perfekter Punkt-zu-Punkt-Verbindungen
- Sender verschickt Nachricht an alle Knoten
- Ein Knoten liefert die Nachricht aus, sobald er sie bekommen hat



■ Problemszenarien (Beispiele)

- Sender fällt aus, bevor er die Nachricht an alle Knoten gesendet hat
- Empfänger fällt aus, bevor er die Nachricht ausliefern konnte



■ Eigenschaften

[Grau: Identisch zum Best-Effort-Multicast]

- **Gültigkeit:** Falls ein korrekter Knoten k eine Nachricht n sendet, dann liefert k die Nachricht n letztendlich auch aus
- **Keine Vervielfachung:** Eine Nachricht wird maximal einmal ausgeliefert
- **Keine Erzeugung:** Falls ein Knoten die Nachricht n eines Senders k ausliefert, wurde n auch zuvor von Knoten k gesendet
- **Einigung:** Falls eine Nachricht n von einem korrekten Knoten ausgeliefert wird, dann liefern letztendlich alle korrekten Knoten n aus

■ Bemerkungen

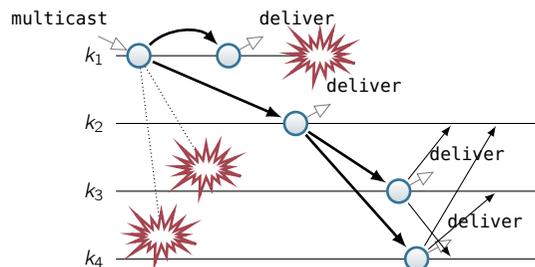
- Konsistenz zwischen korrekten Knoten ist sichergestellt
- Keine Aussage über fehlerhafte Knoten (vgl. Best-Effort-Multicast)

⇒ **Im Fehlerfall: Inkonsistenz zwischen korrekten Knoten und fehlerhaften Knoten möglich**



■ Realisierung

- Grundansatz wie bei Best-Effort-Multicast
- Ein Empfänger leitet die Nachricht an alle anderen Knoten weiter



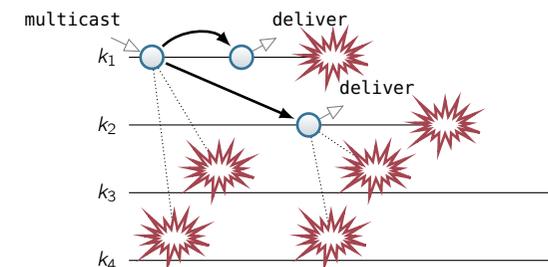
■ Varianten: Weiterleitung der Nachrichten an andere Knoten

- unmittelbar nach ihrem Empfang (*Eager*)
- nach der Erkennung eines Knotenausfalls (*Lazy*)



■ Beispielszenario

- Fehlerhafter Knoten sendet Nachricht
- Nachricht erreicht keinen korrekten Knoten
- Nachricht wird von mindestens einem fehlerhaften Knoten ausgeliefert



■ Problem

- **deliver** könnte zu einer Aktion (z. B. Antwort an Client) geführt haben
- Korrekte Knoten werden diese Aktion niemals durchführen

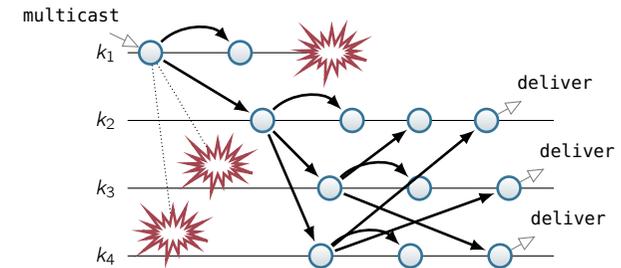


- Eigenschaften [Graul: Identisch zum zuverlässigen Multicast]
 - **Gültigkeit:** Falls ein korrekter Knoten k eine Nachricht n sendet, dann liefert k die Nachricht n letztendlich auch aus
 - **Keine Vervielfachung:** Eine Nachricht wird maximal einmal ausgeliefert
 - **Keine Erzeugung:** Falls ein Knoten die Nachricht n eines Senders k ausliefert, wurde n auch zuvor von Knoten k gesendet
 - **Uniforme Einigung:** Falls eine Nachricht n von **irgendeinem** Knoten ausgeliefert wird, dann liefern letztendlich alle korrekten Knoten n aus
- Bemerkungen
 - Einschränkung der im Fehlerfall möglichen Inkonsistenz
 - Keine Aussage über Nachrichten, die von fehlerhaften Knoten stammen

⇒ Eine durch die Auslieferung einer Nachricht ausgelöste Aktion wird letztendlich von allen korrekten Knoten ausgeführt



- Realisierung
 - Grundansatz wie beim zuverlässigen Multicast
 - Ein Knoten wartet auf Bestätigungen, bevor er eine Nachricht ausliefert



- Varianten
 - Warten auf Bestätigungen aller korrekten Knoten [→ erfordert Fehlerdetektor]
 - Warten auf $\lceil \frac{K+1}{2} \rceil$ Bestätigungen [Annahme: K Knoten insgesamt, max. $\lfloor \frac{K-1}{2} \rfloor$ fehlerhaft]



FIFO-Ordnung

- Eigenschaft
 - **FIFO:** First In, First Out
 - **FIFO-Auslieferung:** Falls ein Knoten eine Nachricht n_1 vor einer Nachricht n_2 sendet, dann liefert ein korrekter Knoten nur dann n_2 aus, wenn er zuvor bereits n_1 ausgeliefert hat
- Bemerkungen
 - FIFO-Eigenschaft bezieht sich jeweils auf die Nachrichten eines Knotens
 - Keine Aussage über die Reihenfolge, in der von unterschiedlichen Knoten gesendete Nachrichten ausgeliefert werden
- Beispiel für Realisierung
 - Nachrichtenversand per (uniformem) zuverlässigem Multicast
 - Nachrichten tragen senderspezifische Sequenznummern
 - Einhaltung der Reihenfolge bei Auslieferung der Nachrichten



Totale Ordnung

- Eigenschaft
 - Annahmen
 - n_1 und n_2 sind zwei beliebige Nachrichten
 - k_1 und k_2 sind zwei beliebige korrekte Knoten, die n_1 und n_2 ausliefern
 - **Totale Ordnung:** Falls Knoten k_1 Nachricht n_1 vor Nachricht n_2 ausliefert, dann liefert Knoten k_2 auch n_1 vor n_2 aus
- Bemerkungen
 - Totale Ordnung bezieht sich auf sämtliche ausgelieferten Nachrichten
 - Zentraler Baustein replizierter Systeme
 - Problemstellung orthogonal zu FIFO-Ordnung
- Mögliche Realisierung
 - (Uniformer) zuverlässiger FIFO-Multicast als Basis
 - Wahl eines Anführerknotens [Neuwahl nach Ausfall des aktuellen Anführers]
 - Anführer bestimmt die globale Auslieferungsreihenfolge aller Nachrichten

