



Diplomverteidigung

Adaption of Cluster-Tree Routing Protocol to IEEE 802.15.4/ZigBee Standard

Thomas Liske

Technische Universität Dresden

11. Dezember 2007



Gliederung

Einleitung

Grundlagen

Protokollumsetzung

Implementierung in ns-2

Zusammenfassung

Motivation der Arbeit

existierende Arbeiten zur Verwendung des Cluster-Tree-Protokolls:

- ▶ keine Beachtung der ZigBee-Kompatibilität
- ▶ keine Benutzung der Cluster-Tree-Funktionen aus IEEE 802.15.4
- ▶ damit redundante Funktionalität
- ▶ keine Beachtung des Energieverbrauches

Zielsetzung der Arbeit

- ▶ Überführung des Cluster-Tree Routing Algorithmus nach ZigBee
- ▶ keine Veränderung des zugrunde liegenden IEEE 802.15.4 Standards
- ▶ Beachtung des Energieverbrauches
- ▶ Implementierung und Evaluation im Netzwerksimulator ns-2



Gliederung

Einleitung

Grundlagen

Cluster-Tree Protokoll

IEEE 802.15.4/ZigBee

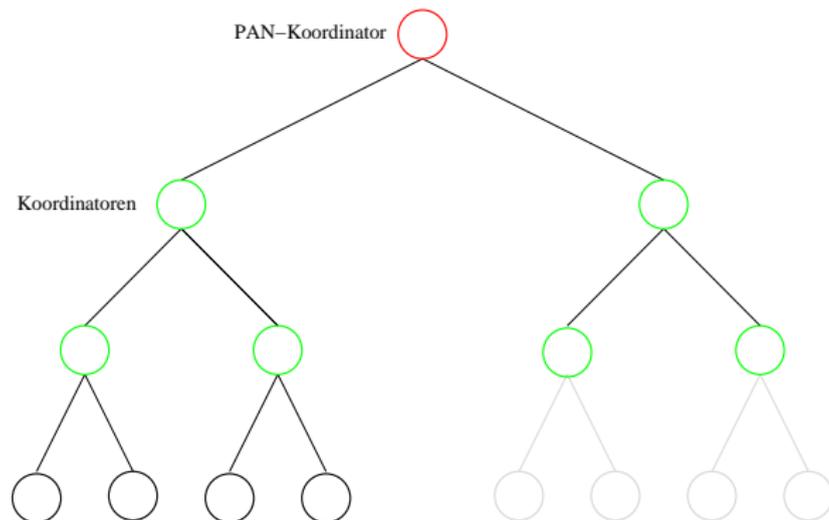
Protokollumsetzung

Implementierung in ns-2

Zusammenfassung



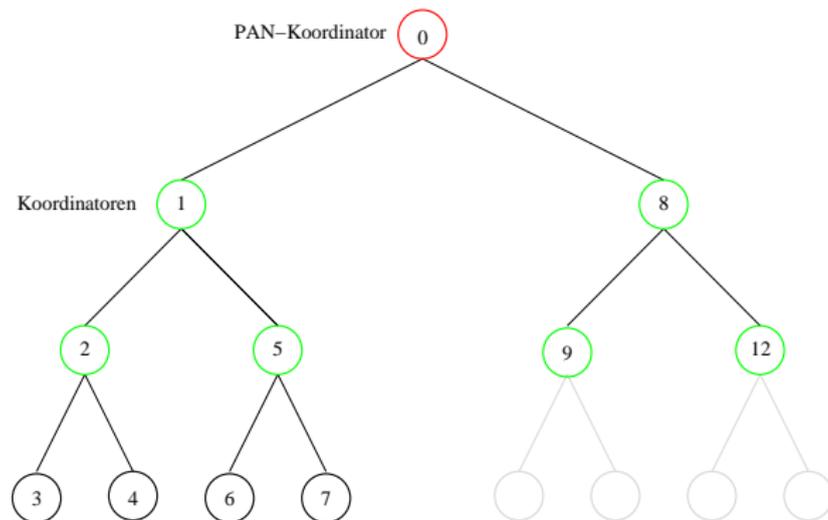
Struktur, Adressierung und Routing



Baumparameter:
max. Baumtiefe: 3
max. Kindknoten: 2



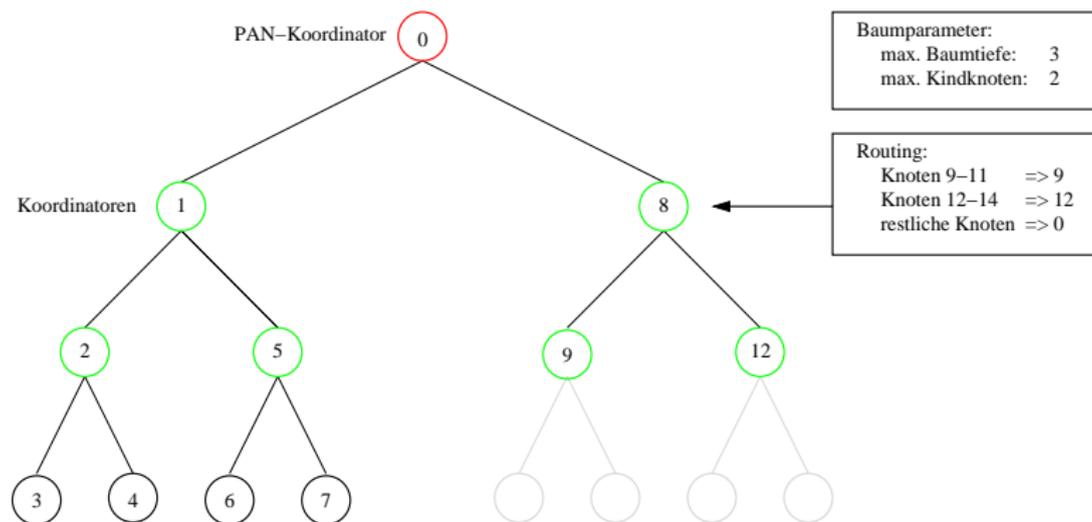
Struktur, Adressierung und Routing



Baumparameter:
max. Baumtiefe: 3
max. Kindknoten: 2



Struktur, Adressierung und Routing





IEEE 802.15.4 Standard

Standard für *low rate wireless personal area networks* (LR-WPANs):

- ▶ spezifiziert PHY- und MAC-Schicht
- ▶ geringe Datenraten (max. 250Kb/s in 2,4GHz)
- ▶ begrenzte Reichweite (ca. 10m)
- ▶ Unterscheidung zwischen *Full Functional Devices* (FFD) und *Reduced Functional Devices* (RFD)
- ▶ Assoziierungsfunktion
- ▶ (slotted) CSMA/CA



ZigBee-Spezifikation

- ▶ Protokollstapel basierend auf dem IEEE 802.15.4 Standard
- ▶ Herausgegeben von der ZigBee-Allianz
- ▶ Einsatz zur Vernetzung für Anwendungsfälle mit:
 - ▶ geringem Datenaufkommen
 - ▶ geringem Energieverbrauch
 - ▶ Sicherheitsfunktionen



Gliederung

Einleitung

Grundlagen

Protokollumsetzung

Cluster-Parameter

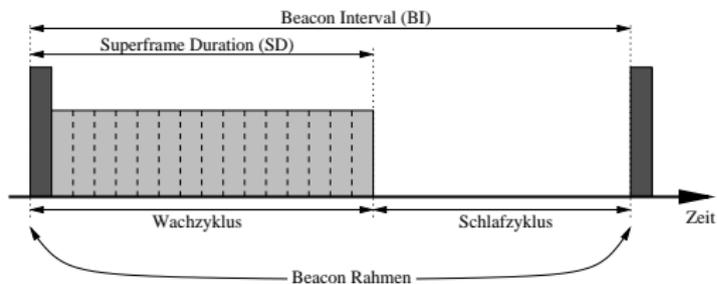
Beacon-Scheduling-Problem

Implementierung in ns-2

Zusammenfassung



Betriebsmodus IEEE 802.15.4 Schicht

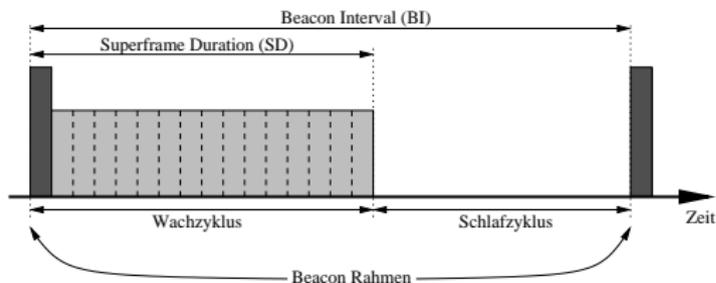


Band	BI, SD
2,4 GHz	15,3 ms - 4,2 min
902 MHz	24 ms - 6,6 min
868 MHz	48 ms - 13,1 min

- ▶ Anteil der Wachzeit ist Verhältnis SD zu BI
- ▶ Einfluss auf: Netzaufbau, Latenz, Durchsatz



Betriebsmodus IEEE 802.15.4 Schicht

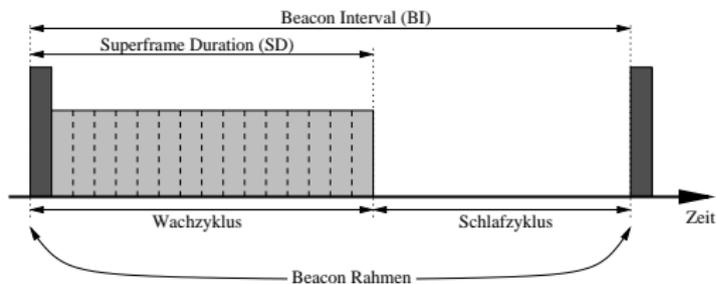


Band	BI, SD
2,4 GHz	15,3 ms - 4,2 min
902 MHz	24 ms - 6,6 min
868 MHz	48 ms - 13,1 min

- ▶ Anteil der Wachzeit ist Verhältnis SD zu BI
- ▶ Einfluss auf: Netzaufbau, Latenz, Durchsatz



Betriebsmodus IEEE 802.15.4 Schicht



Band	BI, SD
2,4 GHz	15,3 ms - 4,2 min
902 MHz	24 ms - 6,6 min
868 MHz	48 ms - 13,1 min

- ▶ Anteil der Wachzeit ist Verhältnis SD zu BI
- ▶ Einfluss auf: Netzaufbau, Latenz, Durchsatz



Beschreibung

Problem:

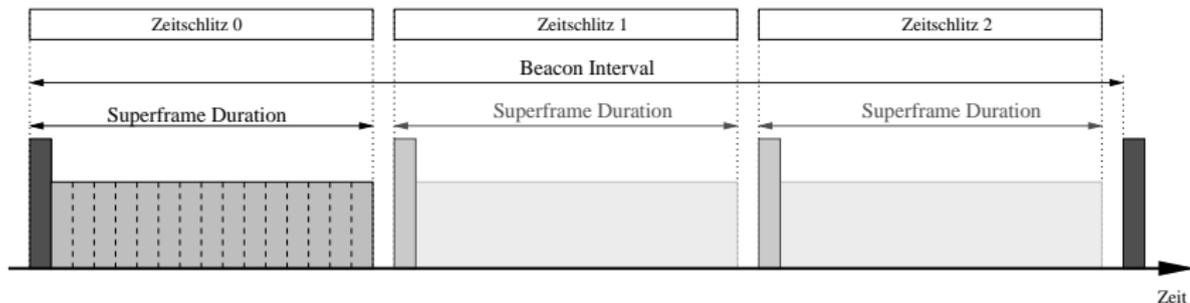
- ▶ Knoten synchronisieren sich auf Koordinatoren
- ▶ Beacons überlagern sich räumlich und zeitlich

Folgen:

- ▶ “Verdeckung” von Koordinatoren
- ▶ Verbindungsverlust durch Beacon-Kollision



Lösungsansätze

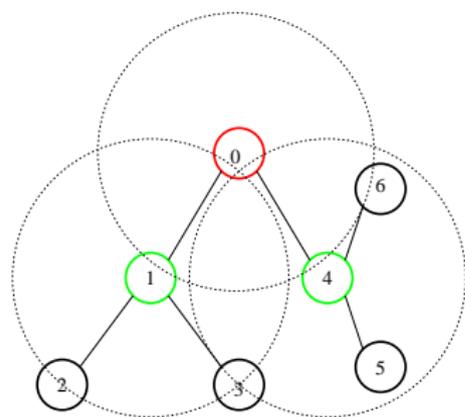


Kollisionsvermeidung von Beacons durch:

- ▶ Gleichverteilung über Zeitschlitz
- ▶ Zeitmultiplex
- ▶ Raum- und Zeitmultiplex



Raum- und Zeitmultiplex



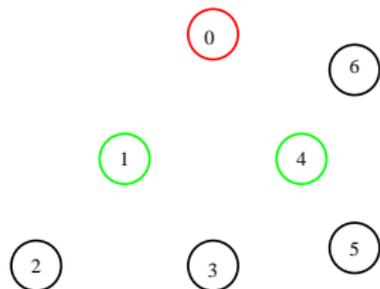
Überführung in ein *vertex coloring problem* aus der Graphentheorie:

- ▶ Knoten werden als Knoten im Graph dargestellt
- ▶ Kanten im Graphen stellen Empfang von Beacons dar
- ▶ Knoten die keine Beacons senden (Blattknoten, RFD) werden eliminiert

Raum- und Zeitmultiplex

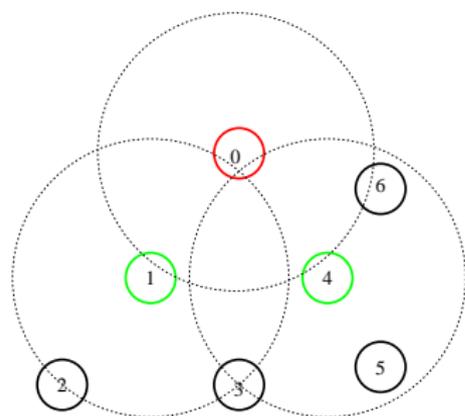
Überführung in ein *vertex coloring problem* aus der Graphentheorie:

- ▶ Knoten werden als Knoten im Graph dargestellt
- ▶ Kanten im Graphen stellen Empfang von Beacons dar
- ▶ Knoten die keine Beacons senden (Blattknoten, RFD) werden eliminiert





Raum- und Zeitmultiplex



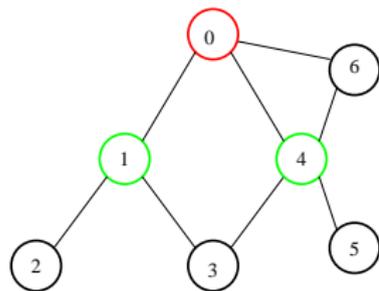
Überführung in ein *vertex coloring problem* aus der Graphentheorie:

- ▶ Knoten werden als Knoten im Graph dargestellt
- ▶ Kanten im Graphen stellen Empfang von Beacons dar
- ▶ Knoten die keine Beacons senden (Blattknoten, RFD) werden eliminiert

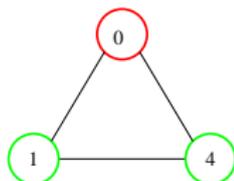
Raum- und Zeitmultiplex

Überführung in ein *vertex coloring problem* aus der Graphentheorie:

- ▶ Knoten werden als Knoten im Graph dargestellt
- ▶ Kanten im Graphen stellen Empfang von Beacons dar
- ▶ Knoten die keine Beacons senden (Blattknoten, RFD) werden eliminiert



Raum- und Zeitmultiplex



Überführung in ein *vertex coloring problem* aus der Graphentheorie:

- ▶ Knoten werden als Knoten im Graph dargestellt
- ▶ Kanten im Graphen stellen Empfang von Beacons dar
- ▶ Knoten die keine Beacons senden (Blattknoten, RFD) werden eliminiert



Umsetzung

Ablauf:

- ▶ Knoten senden Liste mit Koordinatoren an PAN-Koordinator
- ▶ PAN-Koordinator:
 - ▶ berechnet Zeitschlitzverteilung für Beacons
 - ▶ informiert Koordinatoren mit geänderten Zeitschlitz
- ▶ PAN-Koordinator muss über verlassende Knoten informiert werden



Bewertung

Vorteile:

- ▶ bei stationären Knoten keine Kollisionen
- ▶ optimale Ausnutzung der Zeitschlitz

Nachteile:

- ▶ zusätzliche Verwaltungsnachrichten
- ▶ hoher Berechnungsaufwand im PAN-Koordinator



Gliederung

Einleitung

Grundlagen

Protokollumsetzung

Implementierung in ns-2

Netzwerksimulator ns-2

Fehler in ns-2

Zusammenfassung



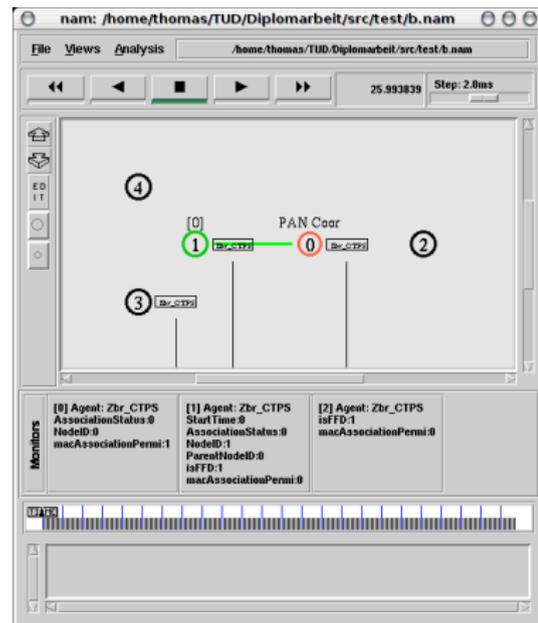
Übersicht

Network Simulator (ns-2):

- ▶ Discrete Event Simulator
- ▶ Simulation von IP-basierenden Netzwerken
- ▶ Implementierung der NWK-Schicht für ZigBee-Netze

Network Animator (nam):

- ▶ grafische Darstellung der Simulation
- ▶ Möglichkeit zur Diagnose von Paketen und Knotenzuständen erweitert





IEEE 802.15.4 Implementierung

- ▶ vorhanden IEEE 802.15.4 Implementierung im *beacon enabled mode* fehlerhaft
- ▶ mehrere Fehler konnten behoben werden
- ▶ konzeptioneller Fehler in ns-2 beim Senden von Rahmen an Vaterknoten



Gliederung

Einleitung

Grundlagen

Protokollumsetzung

Implementierung in ns-2

Zusammenfassung

Zusammenfassung der Arbeit

- ▶ Entwurf eines Cluster-Tree-Protokolls auf ZigBee-Basis
- ▶ optimiert für geringes Datenaufkommen und Energiebedarf
- ▶ Lösungsvorschläge für das *Beacon-Scheduling-Problem*
- ▶ Implementierung im Netzwerksimulator ns-2



Ausblick

Mögliche Themen für weiterführende Arbeiten:

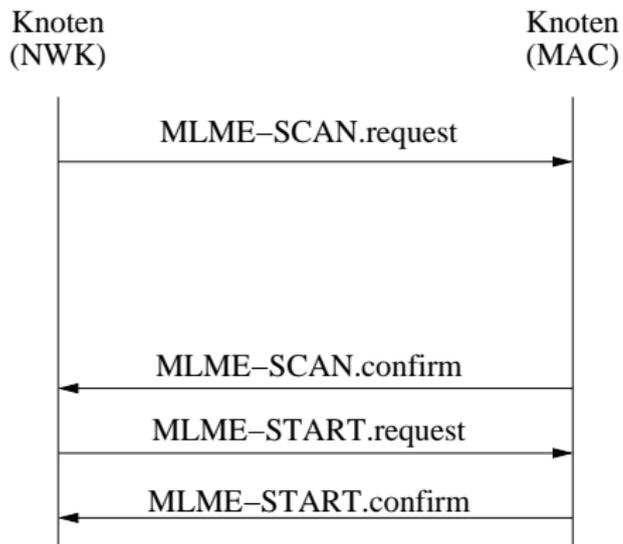
- ▶ Korrektur der IEEE 802.15.4 Schicht in ns-2
- ▶ Konzepte für Inter-Cluster-Kommunikation
- ▶ Anpassung Rekonfiguration
- ▶ Untersuchung von Änderungen der MAC-Schicht

Knotenanzahl im Baum

L : Baumtiefe
 C_m : Anzahl Kindknoten

$$n_L = \frac{1 - C_m^{L+1}}{1 - C_m}$$

Cluster-Formierung



Cluster-Beitritt

Knoten
(NWK)



Knoten
(MAC)



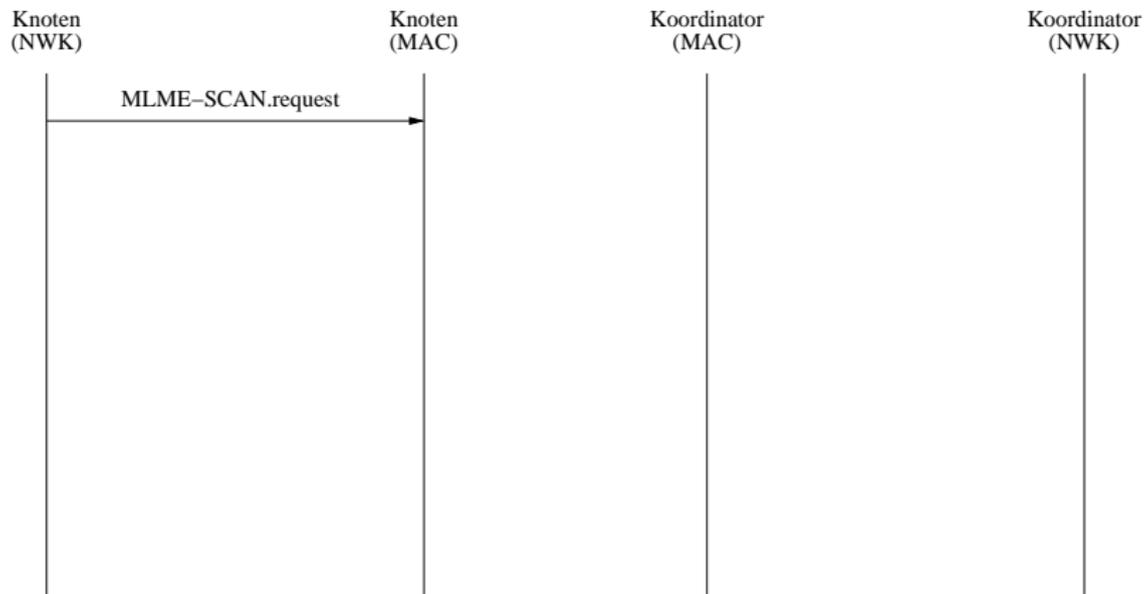
Koordinator
(MAC)



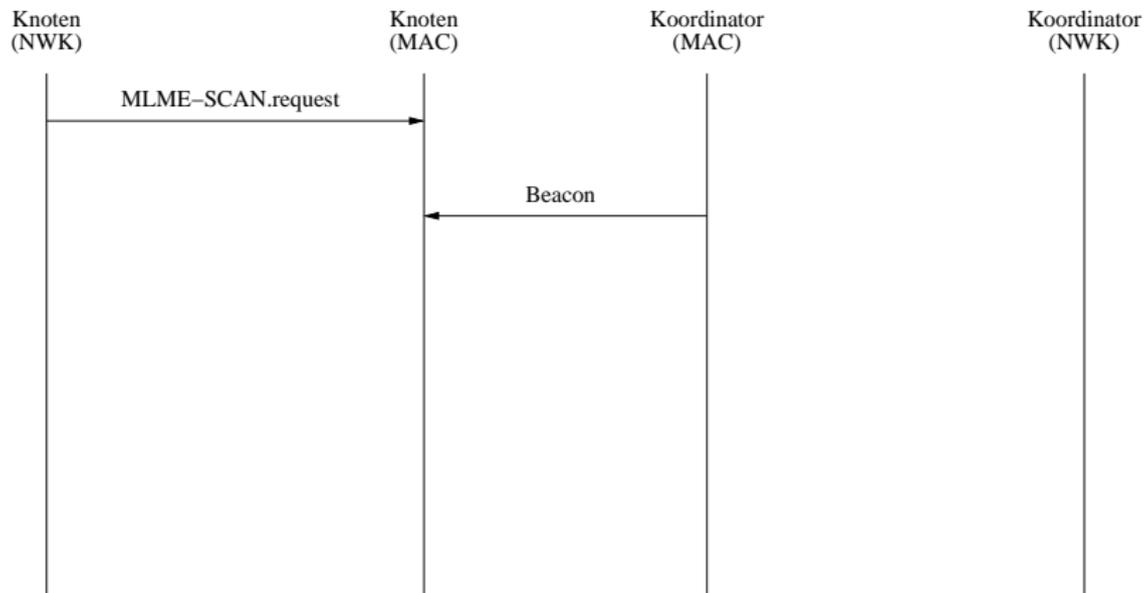
Koordinator
(NWK)



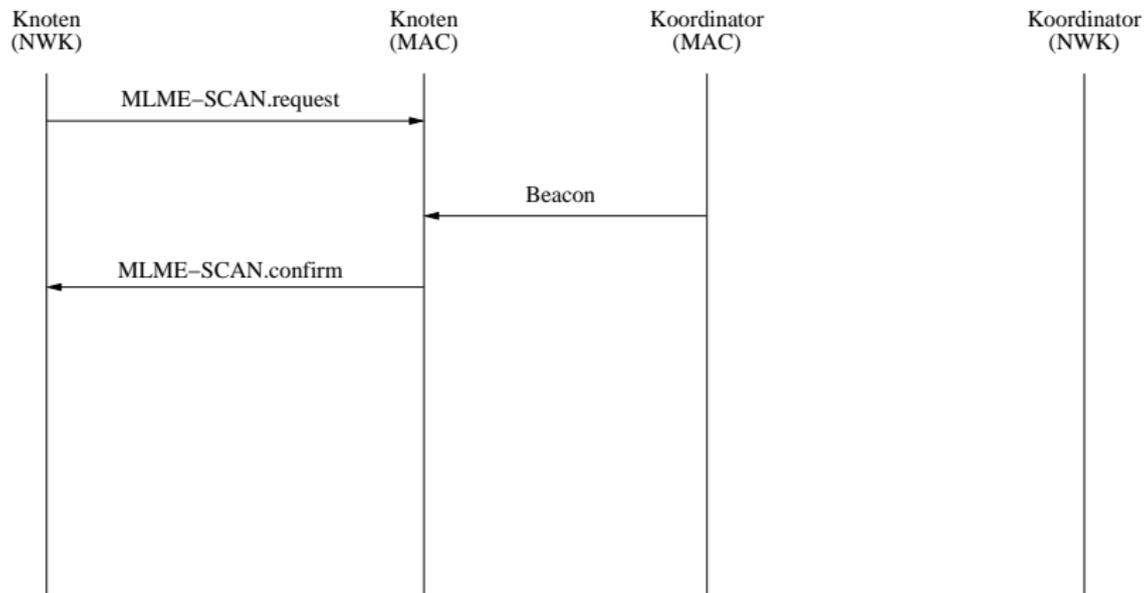
Cluster-Beitritt



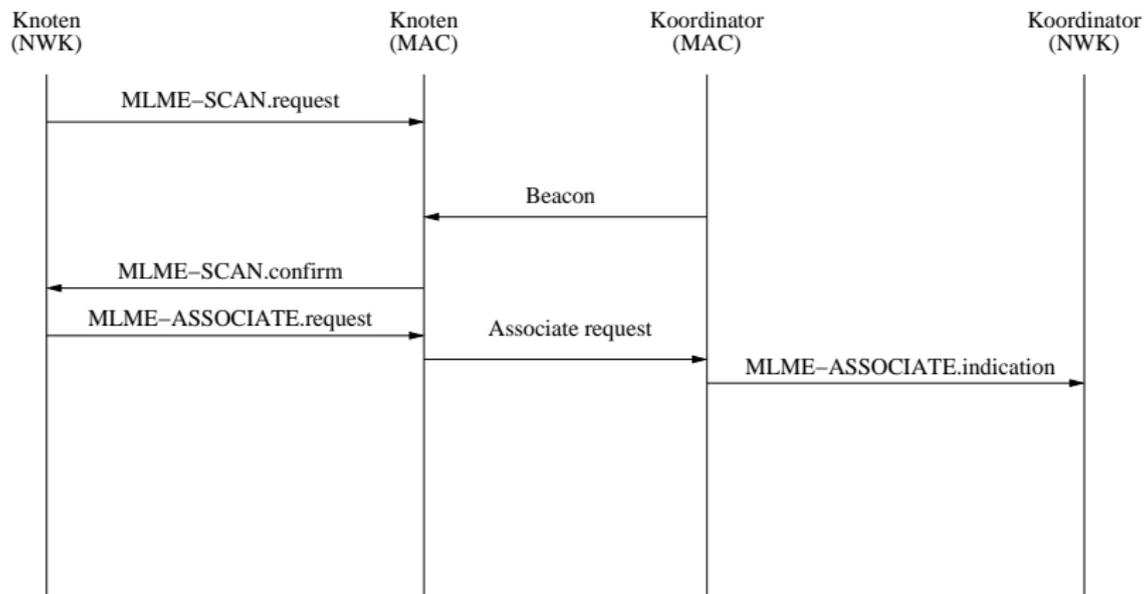
Cluster-Beitritt



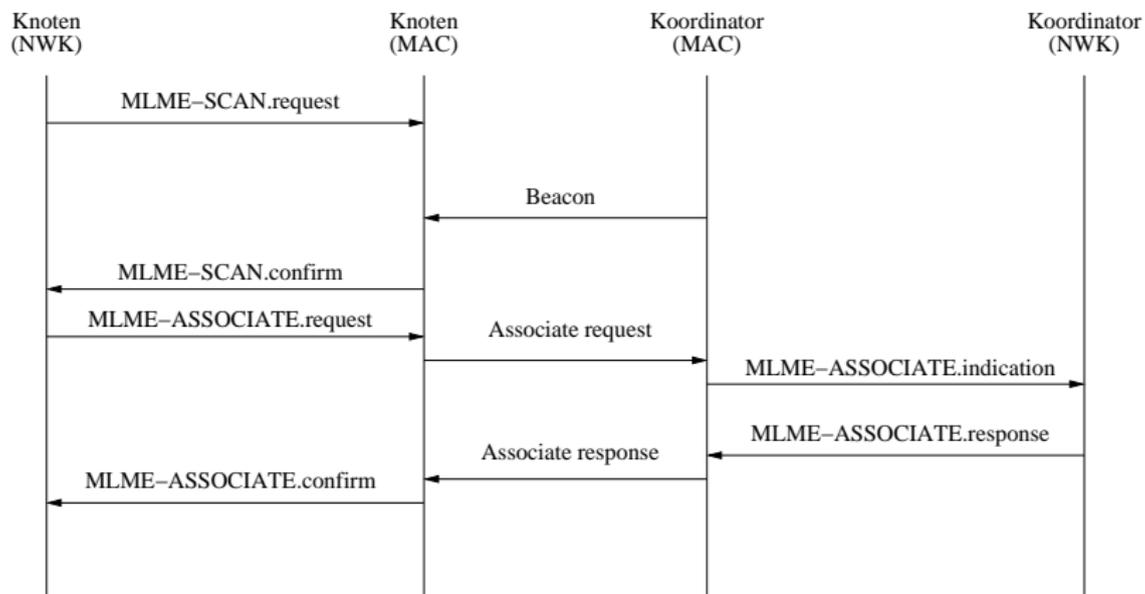
Cluster-Beitritt



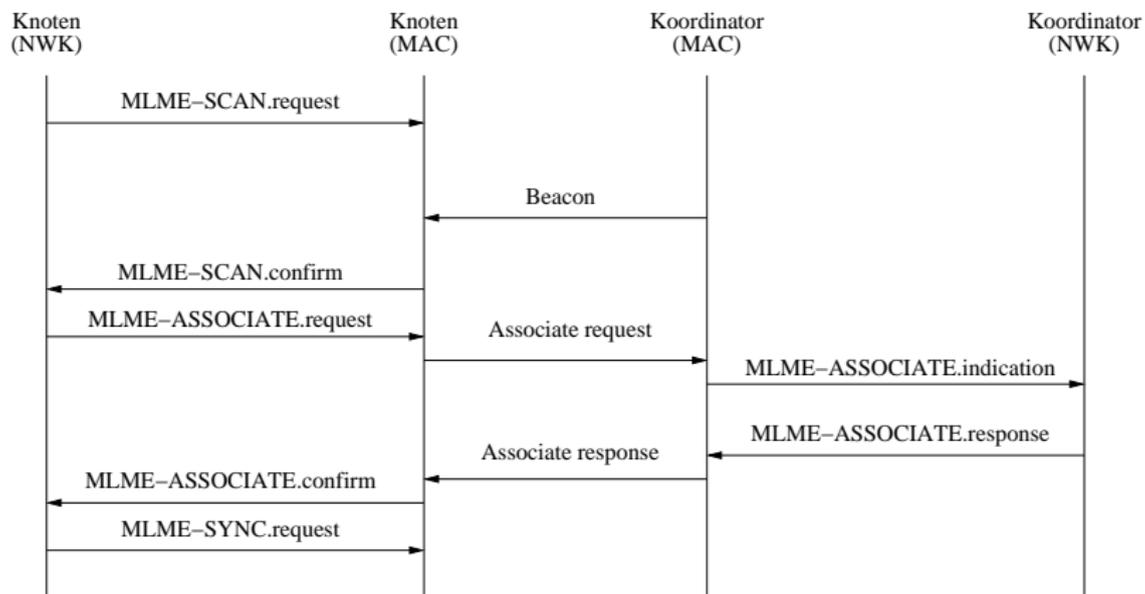
Cluster-Beitritt



Cluster-Beitritt

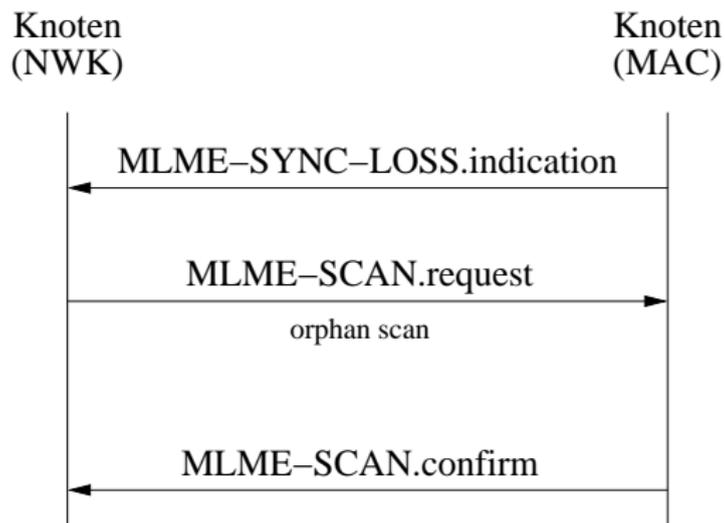


Cluster-Beitritt



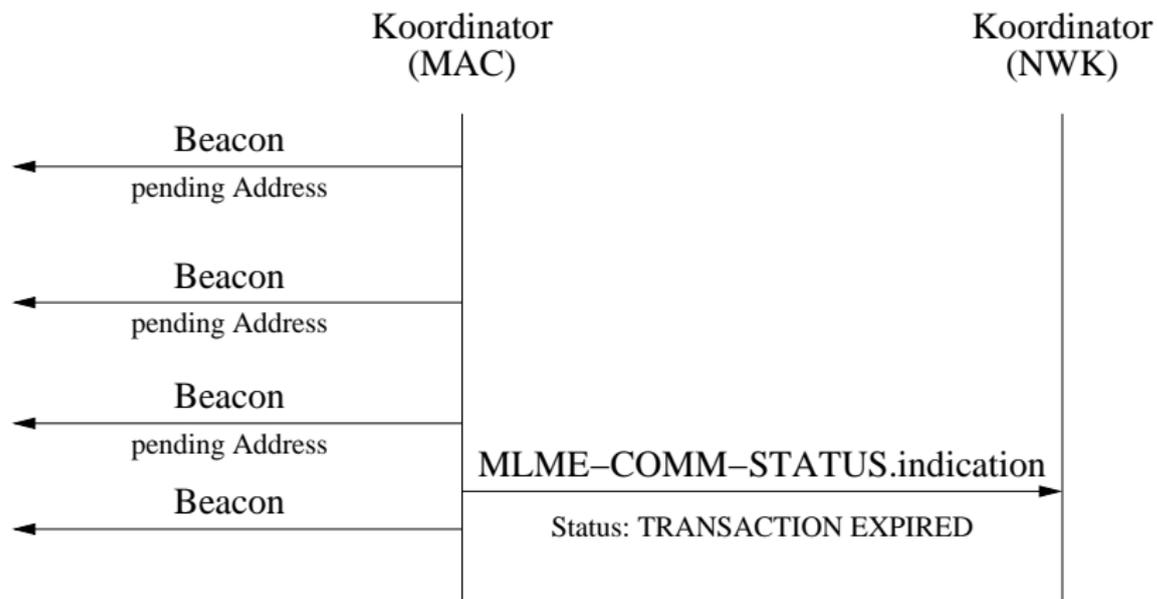
Verbindungsverlust

Knoten zu Koordinator



Verbindungsverlust

Koordinator zu Knoten



Welsh-Powell Algorithmus

Ablauf:

1. alle Knoten sind nicht gefärbt
2. Knoten absteigend nach Anzahl der Kanten sortieren
3. in der Reihenfolge durch die Liste jedem ungefärbten Knoten wenn möglich die Farbe 1 zuweißen
4. Schritt 4 mit Farbe 2, 3, ... wiederholen bis alle Knoten gefärbt sind