



Protokolle und Routing

Sebastian L. Hauer

16. Oktober 2015



1 Motivation

2 Architekturen und Modelle

- Erinnerung: OSI-Schichtenmodell
- Begriffsklärung
- IEEE 802.15.4
 - Anwendungsbereich
- ZigBee

3 Routing

- MANET Bewertungskriterien
- AODV Routing
 - Routenfindung
- OLS Routing
 - Datensätze
 - Nachrichtentypen
 - Routenfindung

4 Ausblick

- Bewertungsansätze



Türschilder

Situation:



Türschilder

Situation:

- Jemand löst ein Ereignis an einem unserer Türschilder aus



Türschilder

Situation:

- Jemand löst ein Ereignis an einem unserer Türschilder aus
- Wohin soll die Nachricht über das Ereignis gesendet werden?



Türschilder

Situation:

- Jemand löst ein Ereignis an einem unserer Türschilder aus
- Wohin soll die Nachricht über das Ereignis gesendet werden?
- Wie soll diese Nachricht vom Türschild zum Ziel kommen?



Türschilder

Situation:

- Jemand löst ein Ereignis an einem unserer Türschilder aus
- Wohin soll die Nachricht über das Ereignis gesendet werden?
- Wie soll diese Nachricht vom Türschild zum Ziel kommen?
- Ist das Ziel überhaupt erreichbar?



Türschilder

Situation:

- Jemand löst ein Ereignis an einem unserer Türschilder aus
- Wohin soll die Nachricht über das Ereignis gesendet werden?
- Wie soll diese Nachricht vom Türschild zum Ziel kommen?
- Ist das Ziel überhaupt erreichbar?
- Wie viel Energie verbraucht der Versand der Nachricht?



Türschilder

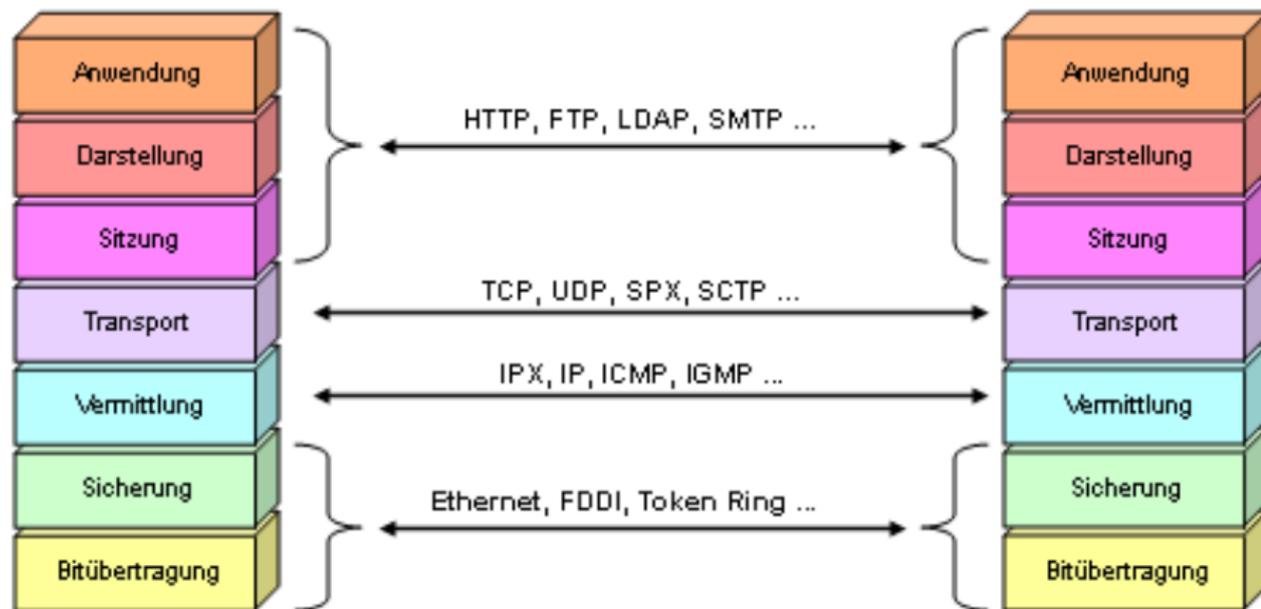
Situation:

- Jemand löst ein Ereignis an einem unserer Türschilder aus
- Wohin soll die Nachricht über das Ereignis gesendet werden?
- Wie soll diese Nachricht vom Türschild zum Ziel kommen?
- Ist das Ziel überhaupt erreichbar?
- Wie viel Energie verbraucht der Versand der Nachricht?
- Kann die Nachricht auch warten?



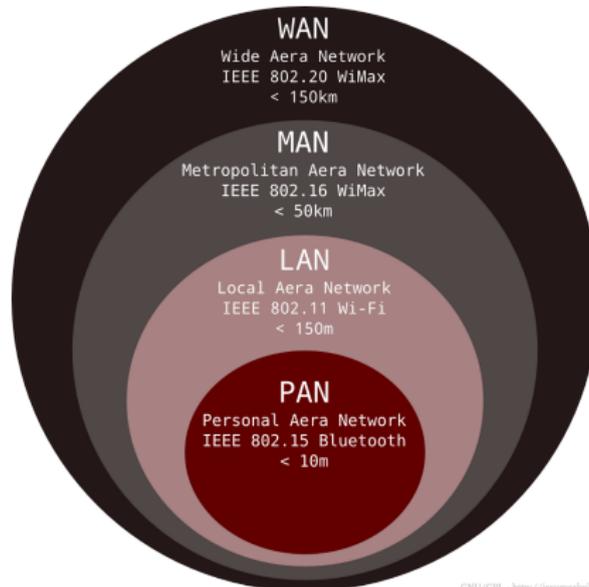
Erinnerung: OSI-Schichtenmodell

OSI-Schichtenmodell





Netzwerkgrößen



GNU/GPL - <http://jeromehal.net>





Begriffe: Geräte



Begriffe: Geräte

- Knoten $\hat{=}$ Gerät



Begriffe: Geräte

- Knoten $\hat{=}$ Gerät
- Endgerät: Sender, Empfänger



Begriffe: Geräte

- Knoten $\hat{=}$ Gerät
- Endgerät: Sender, Empfänger
- Router: Sender, Empfänger, Zwischenstation



Begriffe: Geräte

- Knoten $\hat{=}$ Gerät
- Endgerät: Sender, Empfänger
- Router: Sender, Empfänger, Zwischenstation
- Koordinator: Identifiziert und verwaltet Netzwerke



Begriffe: Geräte

- Knoten $\hat{=}$ Gerät
- Endgerät: Sender, Empfänger
- Router: Sender, Empfänger, Zwischenstation
- Koordinator: Identifiziert und verwaltet Netzwerke
- RFD: Reduced Function Device



Begriffe: Geräte

- Knoten $\hat{=}$ Gerät
- Endgerät: Sender, Empfänger
- Router: Sender, Empfänger, Zwischenstation
- Koordinator: Identifiziert und verwaltet Netzwerke
- RFD: Reduced Function Device
- FFD: Full Function Device



Begriffe: Geräte

- Knoten $\hat{=}$ Gerät
- Endgerät: Sender, Empfänger
- Router: Sender, Empfänger, Zwischenstation
- Koordinator: Identifiziert und verwaltet Netzwerke
- RFD: Reduced Function Device
- FFD: Full Function Device
- Gateway: Verbindungsknoten zwischen mehreren Netzwerken



IEEE 802.15.4

Übertragungsprotokoll für WPANs (10m bis 30m)



IEEE 802.15.4

Übertragungsprotokoll für WPANs (10m bis 30m)

Ziele:

- Energiesparend



IEEE 802.15.4

Übertragungsprotokoll für WPANs (10m bis 30m)

Ziele:

- Energiesparend
- kostengünstige Entwicklung



IEEE 802.15.4

Übertragungsprotokoll für WPANs (10m bis 30m)

Ziele:

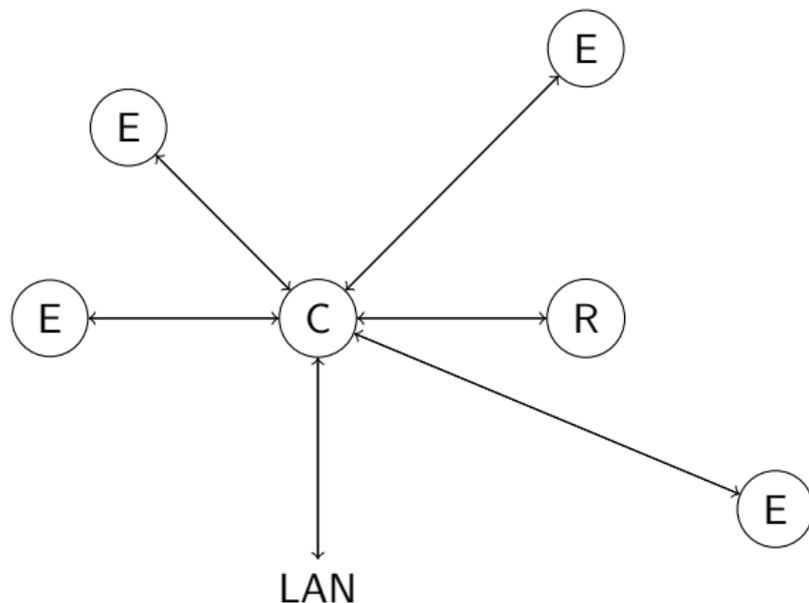
- Energiesparend
- kostengünstige Entwicklung
- Nutzung von lizenzfreien ISM-Frequenzbändern

Topologien

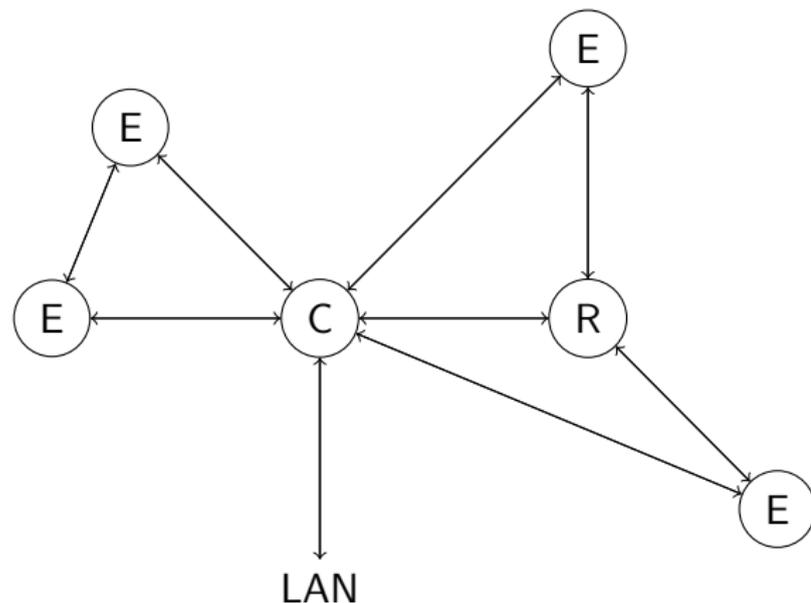
ⓔ : Endgeräte sind meist RFDs

Ⓡ Ⓢ : FFDs können als Router verwendet werden und dürfen ein PAN koordinieren

Topologien: Stern



Topologien: Peer to Peer





Technische Daten

Frequenzband	Bandbreite	Datenrate
868-868,6 MHz	300 kHz	20kBit/s
902-928 MHz	600 kHz	40kBit/s
2400-2483,5 MHz	2 MHz	250kBit/s



Technische Daten

Frequenzband	Bandbreite	Datenrate
868-868,6 MHz	300 kHz	20kBit/s
902-928 MHz	600 kHz	40kBit/s
2400-2483,5 MHz	2 MHz	250kBit/s

Anmerkung:

WLAN	2412 - 2484 MHz
Bluetooth	2402 - 2480 MHz



ZigBee

Erweitert IEEE 802.5.15 ...



ZigBee

Erweitert IEEE 802.5.15 ...

- um Protokolle in Netzwerk- und Verschlüsselungsschicht



ZigBee

Erweitert IEEE 802.5.15 ...

- um Protokolle in Netzwerk- und Verschlüsselungsschicht
- um ein Framework zur Anwendungsentwicklung



ZigBee

Erweitert IEEE 802.5.15 ...

- um Protokolle in Netzwerk- und Verschlüsselungsschicht
- um ein Framework zur Anwendungsentwicklung
- um ein Adressierungsverfahren über PAN-IDs



ZigBee

Erweitert IEEE 802.5.15 ...

- um Protokolle in Netzwerk- und Verschlüsselungsschicht
- um ein Framework zur Anwendungsentwicklung
- um ein Adressierungsverfahren über PAN-IDs

Wird hauptsächlich für den Gebrauch in intelligenten Wohnungen und Häusern vermarktet.



ZigBee

Erweitert IEEE 802.5.15 ...

- um Protokolle in Netzwerk- und Verschlüsselungsschicht
- um ein Framework zur Anwendungsentwicklung
- um ein Adressierungsverfahren über PAN-IDs

Wird hauptsächlich für den Gebrauch in intelligenten Wohnungen und Häusern vermarktet.





Routing

Wir gehen davon aus:

Routing

Wir gehen davon aus:

- Das Gerät ist einem Netzwerk beigetreten.

Routing

Wir gehen davon aus:

- Das Gerät ist einem Netzwerk beigetreten.
- Das Gerät hat eine Adresse erhalten.

Routing

Wir gehen davon aus:

- Das Gerät ist einem Netzwerk beigetreten.
- Das Gerät hat eine Adresse erhalten.
- Das Gerät kennt die Adresse, an die es eine Nachricht schicken will.



Routing

Wir gehen davon aus:

- Das Gerät ist einem Netzwerk beigetreten.
- Das Gerät hat eine Adresse erhalten.
- Das Gerät kennt die Adresse, an die es eine Nachricht schicken will.

Wie kommt die Nachricht am Ziel an?



Weitere Begriffe

Weitere Begriffe

- Ad-Hoc Netzwerk: Spontanes Netzwerk ohne zentrale Verwaltung



Weitere Begriffe

- Ad-Hoc Netzwerk: Spontanes Netzwerk ohne zentrale Verwaltung
- Link-State Routing: Jeder Knoten speichert seine Sicht auf das Netzwerk lokal



Weitere Begriffe

- Ad-Hoc Netzwerk: Spontanes Netzwerk ohne zentrale Verwaltung
- Link-State Routing: Jeder Knoten speichert seine Sicht auf das Netzwerk lokal
- On-Demand Routing: Jeder Knoten ermittelt spontan eine Route zum Ziel



Worauf gilt es zu achten?

RFC 2501 schlägt dazu folgendes vor:



Worauf gilt es zu achten?

RFC 2501 schlägt dazu folgendes vor:

- Verteilte Verwaltung



Worauf gilt es zu achten?

RFC 2501 schlägt dazu folgendes vor:

- Verteilte Verwaltung
- Kreise in der Topologie



Worauf gilt es zu achten?

RFC 2501 schlägt dazu folgendes vor:

- Verteilte Verwaltung
- Kreise in der Topologie
- Ressourcenverbrauch beim Routing



Worauf gilt es zu achten?

RFC 2501 schlägt dazu folgendes vor:

- Verteilte Verwaltung
- Kreise in der Topologie
- Ressourcenverbrauch beim Routing
- Angriffsspielraum durch (blindes) Vertrauen



Worauf gilt es zu achten?

RFC 2501 schlägt dazu folgendes vor:

- Verteilte Verwaltung
- Kreise in der Topologie
- Ressourcenverbrauch beim Routing
- Angriffsspielraum durch (blindes) Vertrauen
- Ruhezeiten stromsparender Geräte



Worauf gilt es zu achten?

RFC 2501 schlägt dazu folgendes vor:

- Verteilte Verwaltung
- Kreise in der Topologie
- Ressourcenverbrauch beim Routing
- Angriffsspielraum durch (blindes) Vertrauen
- Ruhezeiten stromsparender Geräte
- Unidirektionale Verbindungen



Wonach sollte man ein Protokoll bewerten?

RFC 2501 schlägt dazu folgendes vor:



Wonach sollte man ein Protokoll bewerten?

RFC 2501 schlägt dazu folgendes vor:

- Sender ↔ Empfänger Durchsatz



Wonach sollte man ein Protokoll bewerten?

RFC 2501 schlägt dazu folgendes vor:

- Sender ↔ Empfänger Durchsatz
- Verzögerung der Kommunikation



Wonach sollte man ein Protokoll bewerten?

RFC 2501 schlägt dazu folgendes vor:

- Sender ↔ Empfänger Durchsatz
- Verzögerung der Kommunikation
- Frequenz falscher Paketreihenfolge



Wonach sollte man ein Protokoll bewerten?

RFC 2501 schlägt dazu folgendes vor:

- Sender ↔ Empfänger Durchsatz
- Verzögerung der Kommunikation
- Frequenz falscher Paketreihenfolge
- Effizienz:



Wonach sollte man ein Protokoll bewerten?

RFC 2501 schlägt dazu folgendes vor:

- Sender ↔ Empfänger Durchsatz
- Verzögerung der Kommunikation
- Frequenz falscher Paketreihenfolge
- Effizienz:
 - Größe der insgesamt übertragenen Daten



Wonach sollte man ein Protokoll bewerten?

RFC 2501 schlägt dazu folgendes vor:

- Sender ↔ Empfänger Durchsatz
- Verzögerung der Kommunikation
- Frequenz falscher Paketreihenfolge
- Effizienz:
 - Größe der insgesamt übertragenen Daten
 - Größe der übertragenen Metadaten



Worauf sollte man bei der Bewertung achten?

RFC 2501 schlägt dazu folgendes vor:



Worauf sollte man bei der Bewertung achten?

RFC 2501 schlägt dazu folgendes vor:

- Netzwerkgröße



Worauf sollte man bei der Bewertung achten?

RFC 2501 schlägt dazu folgendes vor:

- Netzwerkgröße
- Grad der Netzwerkknoten



Worauf sollte man bei der Bewertung achten?

RFC 2501 schlägt dazu folgendes vor:

- Netzwerkgröße
- Grad der Netzwerkknoten
- Frequenz von Änderungen



Worauf sollte man bei der Bewertung achten?

RFC 2501 schlägt dazu folgendes vor:

- Netzwerkgröße
- Grad der Netzwerkknoten
- Frequenz von Änderungen
- Bandbreite



Worauf sollte man bei der Bewertung achten?

RFC 2501 schlägt dazu folgendes vor:

- Netzwerkgröße
- Grad der Netzwerkknoten
- Frequenz von Änderungen
- Bandbreite
- Anzahl unidirektionaler Verbindungen



Worauf sollte man bei der Bewertung achten?

RFC 2501 schlägt dazu folgendes vor:

- Netzwerkgröße
- Grad der Netzwerkknoten
- Frequenz von Änderungen
- Bandbreite
- Anzahl unidirektionaler Verbindungen
- Bildung von Mustern



Worauf sollte man bei der Bewertung achten?

RFC 2501 schlägt dazu folgendes vor:

- Netzwerkgröße
- Grad der Netzwerkknoten
- Frequenz von Änderungen
- Bandbreite
- Anzahl unidirektionaler Verbindungen
- Bildung von Mustern
- Anfälligkeit zu Ausfällen



Worauf sollte man bei der Bewertung achten?

RFC 2501 schlägt dazu folgendes vor:

- Netzwerkgröße
- Grad der Netzwerkknoten
- Frequenz von Änderungen
- Bandbreite
- Anzahl unidirektionaler Verbindungen
- Bildung von Mustern
- Anfälligkeit zu Ausfällen
- Anzahl energiesparender Knoten



Ad-Hoc On Demand Vector Routing [RFC 3561]

Ad-Hoc On Demand Vector Routing [RFC 3561]

- Ein Routingprotokoll für Ad-Hoc Netzwerke



Ad-Hoc On Demand Vector Routing [RFC 3561]

- Ein Routingprotokoll für Ad-Hoc Netzwerke
- Benutzt 3(4) Nachrichtentypen zur Verwaltung



Ad-Hoc On Demand Vector Routing [RFC 3561]

- Ein Routingprotokoll für Ad-Hoc Netzwerke
- Benutzt 3(4) Nachrichtentypen zur Verwaltung
 - Route Request (RREQ)



Ad-Hoc On Demand Vector Routing [RFC 3561]

- Ein Routingprotokoll für Ad-Hoc Netzwerke
- Benutzt 3(4) Nachrichtentypen zur Verwaltung
 - Route Request (RREQ)
 - Route Reply (RREP) + Route Reply ACK (RREP-ACK)



Ad-Hoc On Demand Vector Routing [RFC 3561]

- Ein Routingprotokoll für Ad-Hoc Netzwerke
- Benutzt 3(4) Nachrichtentypen zur Verwaltung
 - Route Request (RREQ)
 - Route Reply (RREP) + Route Reply ACK (RREP-ACK)
 - Route Error (RERR)



Ad-Hoc On Demand Vector Routing [RFC 3561]

- Ein Routingprotokoll für Ad-Hoc Netzwerke
- Benutzt 3(4) Nachrichtentypen zur Verwaltung
 - Route Request (RREQ)
 - Route Reply (RREP) + Route Reply ACK (RREP-ACK)
 - Route Error (RERR)
- Vermerkt mögliche Route in Tabelle

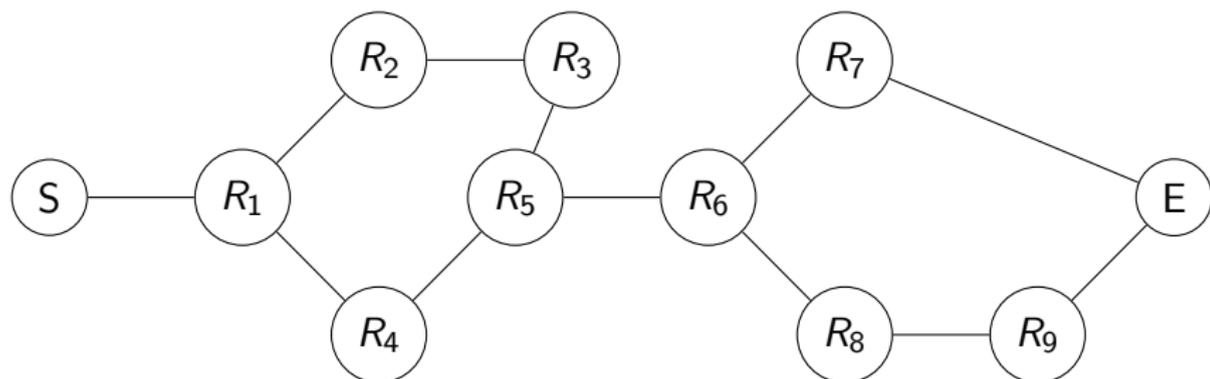


Ad-Hoc On Demand Vector Routing [RFC 3561]

- Ein Routingprotokoll für Ad-Hoc Netzwerke
- Benutzt 3(4) Nachrichtentypen zur Verwaltung
 - Route Request (RREQ)
 - Route Reply (RREP) + Route Reply ACK (RREP-ACK)
 - Route Error (RERR)
- Vermerkt mögliche Route in Tabelle
 - Aktualisiert diese nur bei Bedarf (On-Demand)

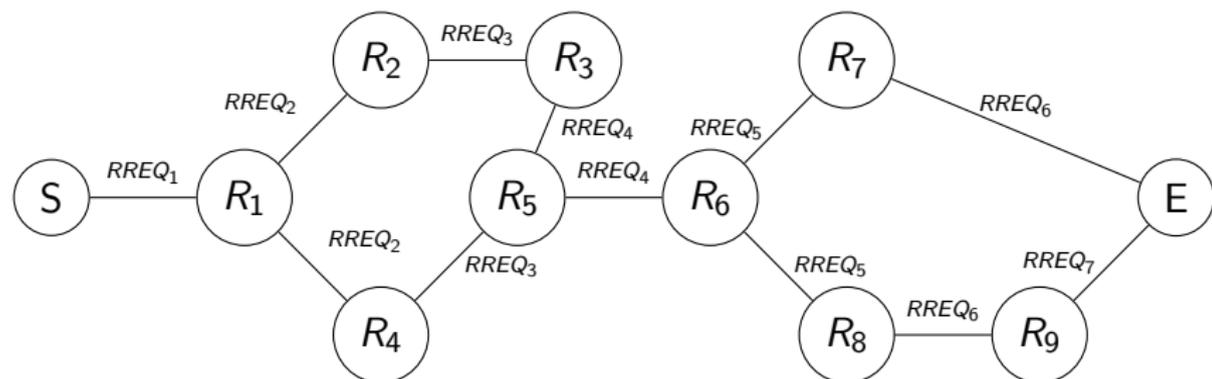


RREQ



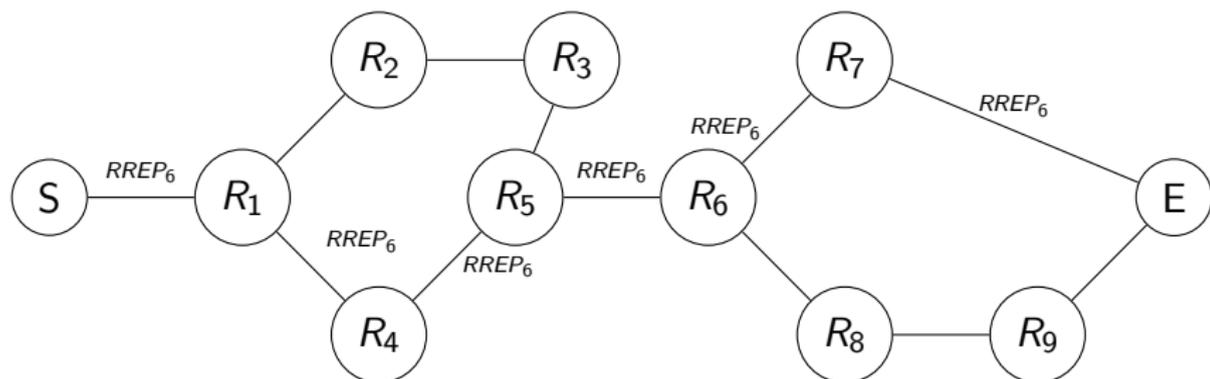


RREQ

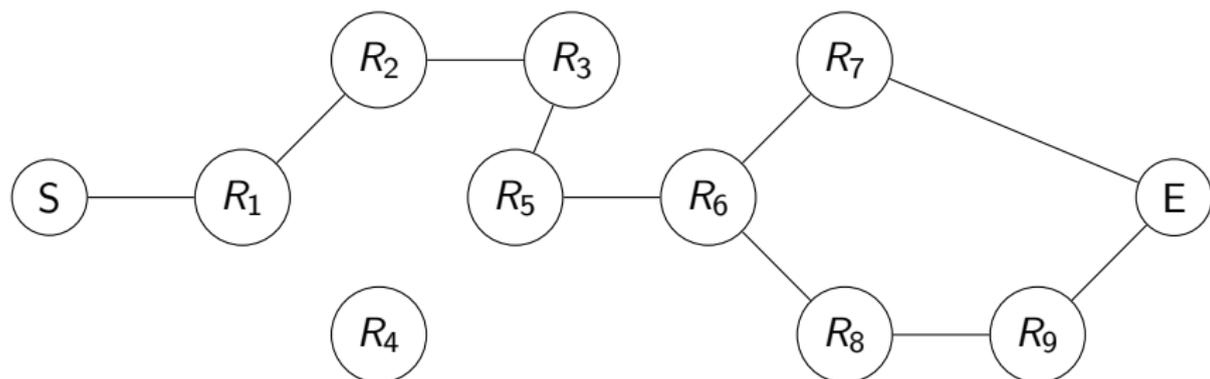




RREP

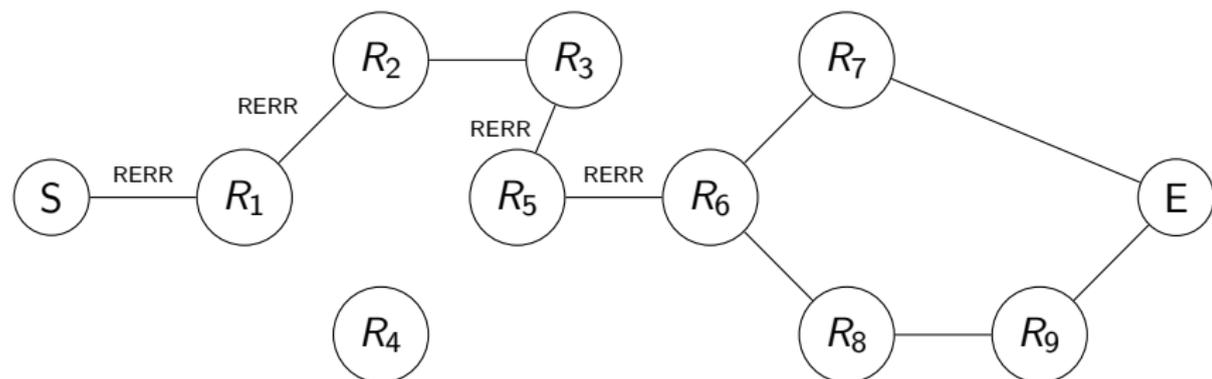


RERR





RERR





Optimized Link-State Routing

Optimized Link-State Routing

- Ein weiteres Routingprotokoll für Ad-Hoc Netzwerke



Optimized Link-State Routing

- Ein weiteres Routingprotokoll für Ad-Hoc Netzwerke
- Verwaltet nur eine lokale (2-Hops weite) Sicht auf das Netzwerk



Optimized Link-State Routing

- Ein weiteres Routingprotokoll für Ad-Hoc Netzwerke
- Verwaltet nur eine lokale (2-Hops weite) Sicht auf das Netzwerk
- Versucht Nachrichtenoverhead zu reduzieren durch Auswahl dedizierter Kommunikationsknoten



Optimized Link-State Routing

- Ein weiteres Routingprotokoll für Ad-Hoc Netzwerke
- Verwaltet nur eine lokale (2-Hops weite) Sicht auf das Netzwerk
- Versucht Nachrichtenoverhead zu reduzieren durch Auswahl dedizierter Kommunikationsknoten
- Generiert Anhand der Informationen über diese Wahl anderer Knoten eine lokale Routingtabelle



Was wird gespeichert?



Was wird gespeichert?

- Vermerke Tabelle über alle bekannten 2-Hop Verbindungen



Was wird gespeichert?

- Vermerke Tabelle über alle bekannten 2-Hop Verbindungen
- Berechne ein möglichst minimales DOMINATINGSET auf diesen Knoten



Was wird gespeichert?

- Vermerke Tabelle über alle bekannten 2-Hop Verbindungen
- Berechne ein möglichst minimales `DOMINATINGSET` auf diesen Knoten
 - Diese Knoten heißen **Multipoint-Relay**.

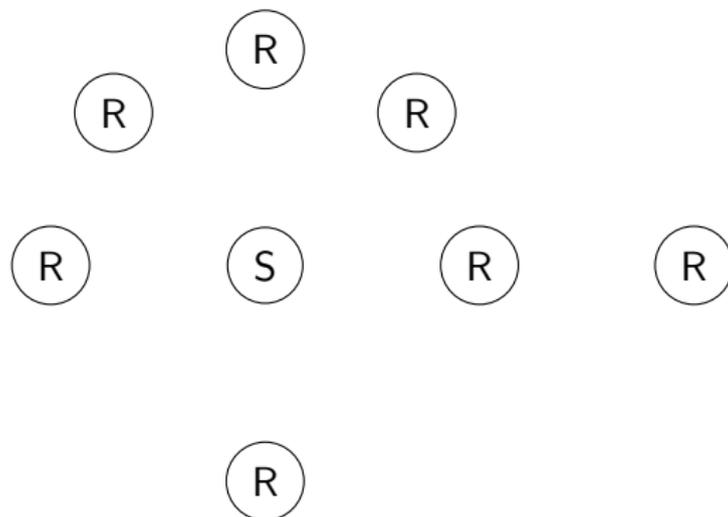


Was wird gespeichert?

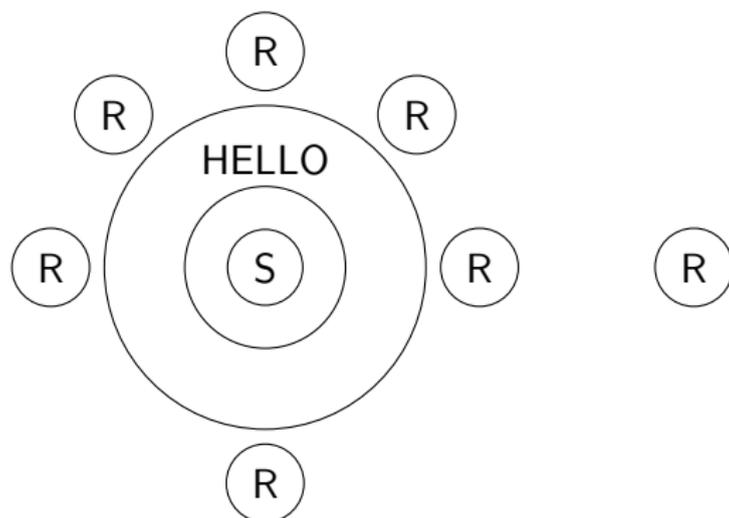
- Vermerke Tabelle über alle bekannten 2-Hop Verbindungen
- Berechne ein möglichst minimales `DOMINATINGSET` auf diesen Knoten
 - Diese Knoten heißen **Multipoint-Relay**.
- Verwende zum broadcasten von Routinganfragen nur die Multipoint-Relays.



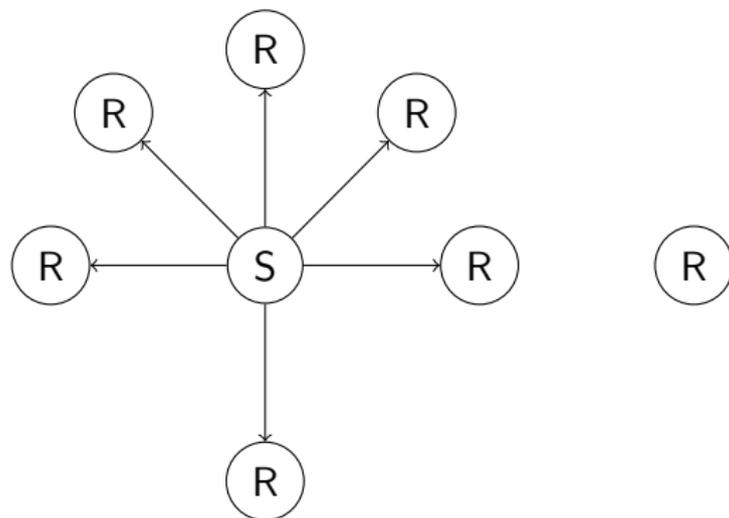
HELLO - Nachrichten



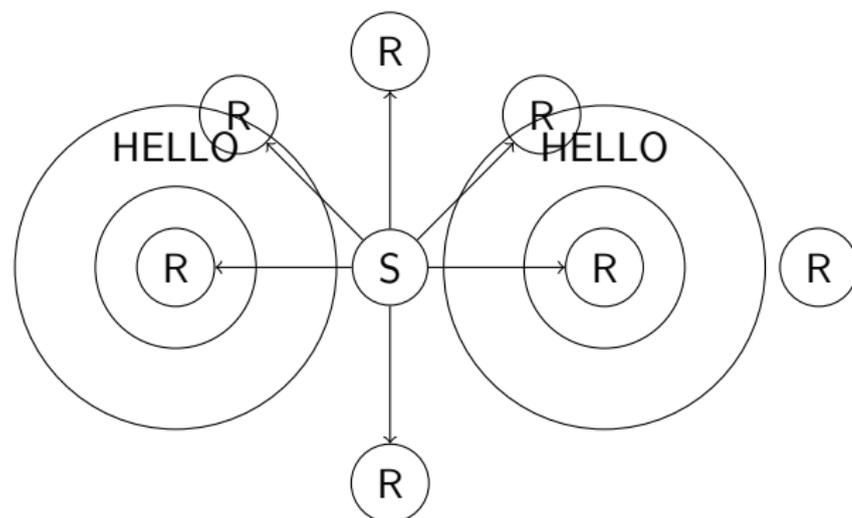
HELLO - Nachrichten



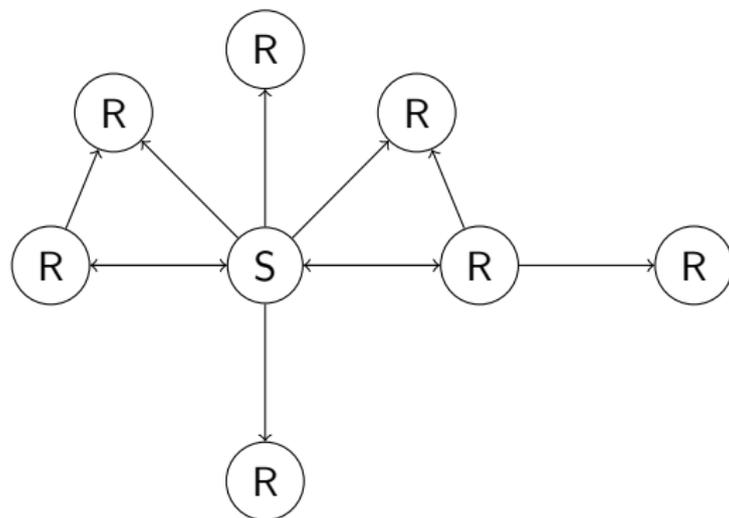
HELLO - Nachrichten



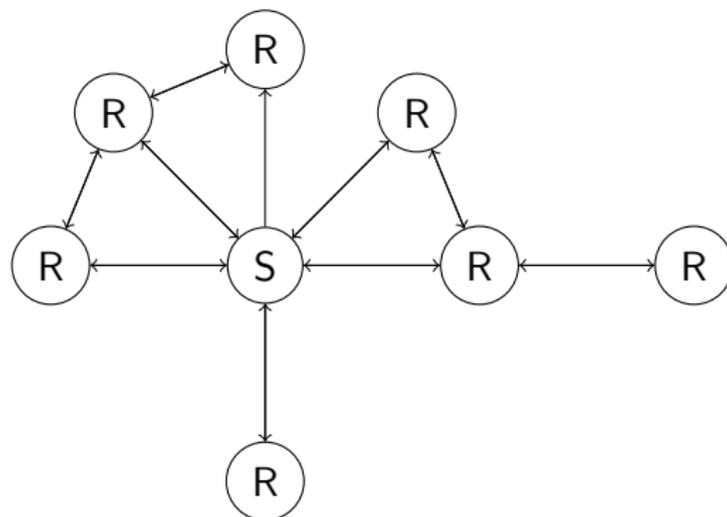
HELLO - Nachrichten



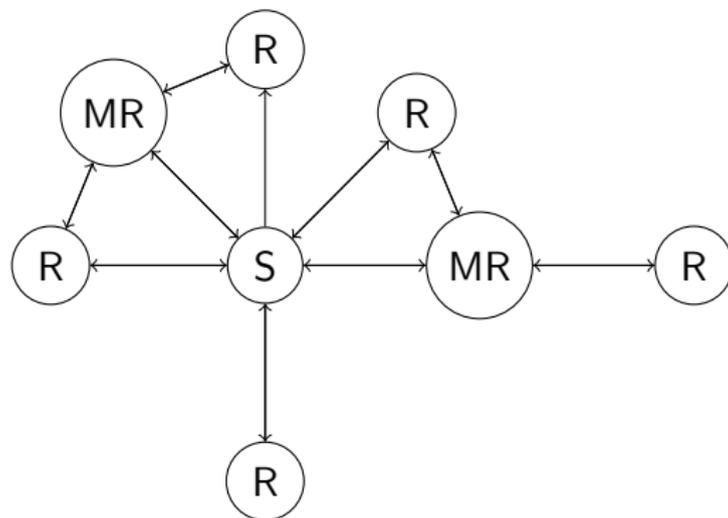
HELLO - Nachrichten



HELLO - Nachrichten



HELLO - Nachrichten





Topology Control (TC) - Nachrichten



Topology Control (TC) - Nachrichten

- Informationen über eigene lokale Topologie



Topology Control (TC) - Nachrichten

- Informationen über eigene lokale Topologie
- Werden *nur* über **Multipoint Relays** weiter verteilt



Topology Control (TC) - Nachrichten

- Informationen über eigene lokale Topologie
- Werden *nur* über **Multipoint Relays** weiter verteilt
- Helfen andere Knoten ein Bild vom gesamten Netzwerk aufzubauen



Topology Control (TC) - Nachrichten

- Informationen über eigene lokale Topologie
- Werden *nur* über **Multipoint Relays** weiter verteilt
- Helfen andere Knoten ein Bild vom gesamten Netzwerk aufzubauen
- Routenfindung über paarweise verbundene Pfade in eigener Liste



Einschätzungen



Einschätzungen

- OLSR beansprucht als proaktives Protokoll die Bandbreite der Geräte



Einschätzungen

- OLSR beansprucht als proaktives Protokoll die Bandbreite der Geräte
- Die Topologie unseres SolarDoorplate Netzwerkes wird sich jedoch selten ändern



Einschätzungen

- OLSR beansprucht als proaktives Protokoll die Bandbreite der Geräte
- Die Topologie unseres SolarDoorplate Netzwerkes wird sich jedoch selten ändern
- AODVR wird einmal aktive Verbindungen vermutlich beibehalten können und müssen



Einschätzungen

- OLSR beansprucht als proaktives Protokoll die Bandbreite der Geräte
- Die Topologie unseres SolarDoorplate Netzwerkes wird sich jedoch selten ändern
- AODVR wird einmal aktive Verbindungen vermutlich beibehalten können und müssen
- Routenanfragen werden seltener ausgeführt



Einschätzungen

- OLSR beansprucht als proaktives Protokoll die Bandbreite der Geräte
- Die Topologie unseres SolarDoorplate Netzwerkes wird sich jedoch selten ändern
- AODVR wird einmal aktive Verbindungen vermutlich beibehalten können und müssen
- Routenanfragen werden seltener ausgeführt
- Verwendung von dedizierten Verteilerstationen könnte einen hybriden ermöglichen



Einschätzungen

- OLSR beansprucht als proaktives Protokoll die Bandbreite der Geräte
- Die Topologie unseres SolarDoorplate Netzwerkes wird sich jedoch selten ändern
- AODVR wird einmal aktive Verbindungen vermutlich beibehalten können und müssen
- Routenanfragen werden seltener ausgeführt
- Verwendung von dedizierten Verteilerstationen könnte einen hybriden ermöglichen
- Genaue Implementierung ist schließlich gänzlich uns überlassen



Noch fragen ... ?

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!



Referenzen

Bild <http://jeromeabel.net/files/ressources/xbee-arduino/images/large/network-scales.png>

Bild <http://www.der-wirtschaftsingenieur.de/bilder/it/OSI-Modell3.PNG>

IEEE: <https://standards.ieee.org/getieee802/download/802.15.4-2011.pdf>

RFC3561: <https://www.ietf.org/rfc/rfc3561.txt>

RFC2501: <https://tools.ietf.org/html/rfc2501>

OLSR: <http://www.cs.jhu.edu/~dholmer/600.647/papers/OLSR.pdf>