



„Power Aware Ad Hoc Routing“

(Thorsten Koch, Universität Karlsruhe)

Seminararbeit im Rahmen des Teleseminars:

Ubiquitous Computing, WS 2001/2002

Betreuer: Dipl. – Ing. Kilian Weniger

10.12.2001



Agenda

- Einleitung
- Power Management in mobilen Computerendgeräten
- Energieuntersuchung von drahtlosen Netzwerken im Ad Hoc Modus
- Effiziente Power Aware Routing Algorithmen in Ad Hoc Netzwerken
- Zusammenfassung

Agenda

- Einleitung
- Power Management in mobilen Computerendgeräten
- Energieuntersuchung von drahtlosen Netzwerken im Ad Hoc Modus
- Effiziente Power Aware Routing Algorithmen in Ad Hoc Netzwerken
- Zusammenfassung

Power Awareness ist wichtig für Qualität und Lebensdauer von Ad Hoc Netzen



- Power Awareness:
„Bewußtsein für Leistung/ Energieverbrauch“

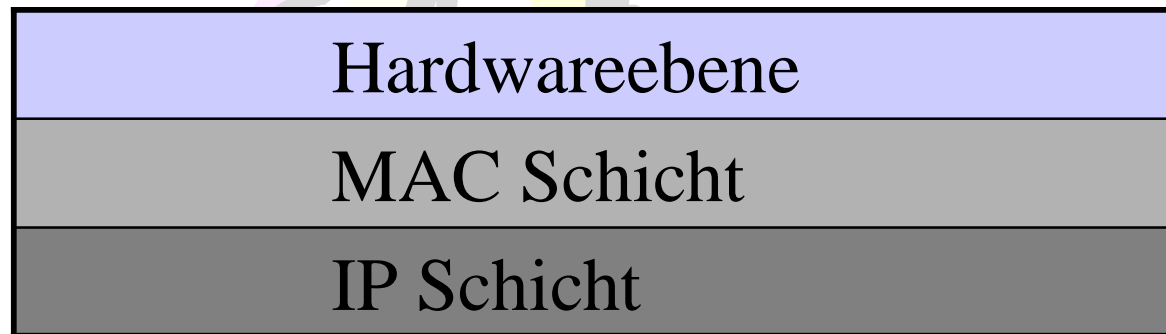
Warum Power Awareness?

- Beschränkte Batteriekapazität in Mobilcomputern
- *Erhöhung der Kapazität* :
 - Erhöhtes Gewicht/Größe der Geräte
- *Energieeinsparung*:
 - Längere Laufzeit der Mobilgeräte



Energieverbrauch wird auf drei verschiedenen Schichten analysiert

- Mobile Geräte: Verbrauch von Energie für
 - Aufgaben im Gerät selbst
 - verschiedene Ebenen der Netzwerkkonstruktion
- Einsparung in allen Bereichen verlängert Batterielebensdauer



Agenda

- Einleitung
- Power Management in mobilen Computerendgeräten
- Energieuntersuchung von drahtlosen Netzwerken im Ad Hoc Modus
- Effiziente Power Aware Routing Algorithmen in Ad Hoc Netzwerken
- Zusammenfassung

Auf Hardwareebene gibt es drei große Energieverbraucher



Untersuchung am Sharp PC 6785 Laptop



<u>Komponente</u>	<u>Leistung(Watt)</u>
Basissystem mit 25 MHz CPU und 2MB memory	3.65
Basissystem mit 5 MHz CPU und 2MB memory	3.15
Bildschirmbeleuchtung	1.43
Festplattenmotor	1.10

} Differenz
0.5 W

Die Leistung der CPU hängt quadratisch von der Spannung ab



Die Leistung der CPU ist abhängig von:

- Kapazität der zu schaltenden Elemente (Transistoren etc.)
- Taktung
- Versorgungsspannung

Für die Gesamtleistung gilt:

$$P_{(CPU)} \sim C * U^2 * F$$

C: Kapazität

U: Versorgungsspannung

F: Taktfrequenz

Durch „Spin Downs“ der Festplatte kann bis zu 90% Energie gespart werden



„Spin Down“: Versetzen der Festplatte in einen energiesparenden Schlafmodus nach fest definierter Zeit ohne Datenempfang

- Herstellerempfehlung für Länge des Zeitraums ohne Datenempfang vor Spindown: **5 min**
- Optimalität nach Forschungsergebnissen: **2 sek**
 - **Energieeinsparung im 1. Fall**
gegenüber Verzicht auf „Spin downs“ **22 %**
 - **Energieeinsparung im 2. Fall**
gegenüber Verzicht auf „Spin downs“ **90 %**

Agenda

- Einleitung
- Power Management in mobilen Computerendgeräten
- Energieuntersuchung von drahtlosen Netzwerken im Ad Hoc Modus
- Effiziente Power Aware Routing Algorithmen in Ad Hoc Netzwerken
- Zusammenfassung

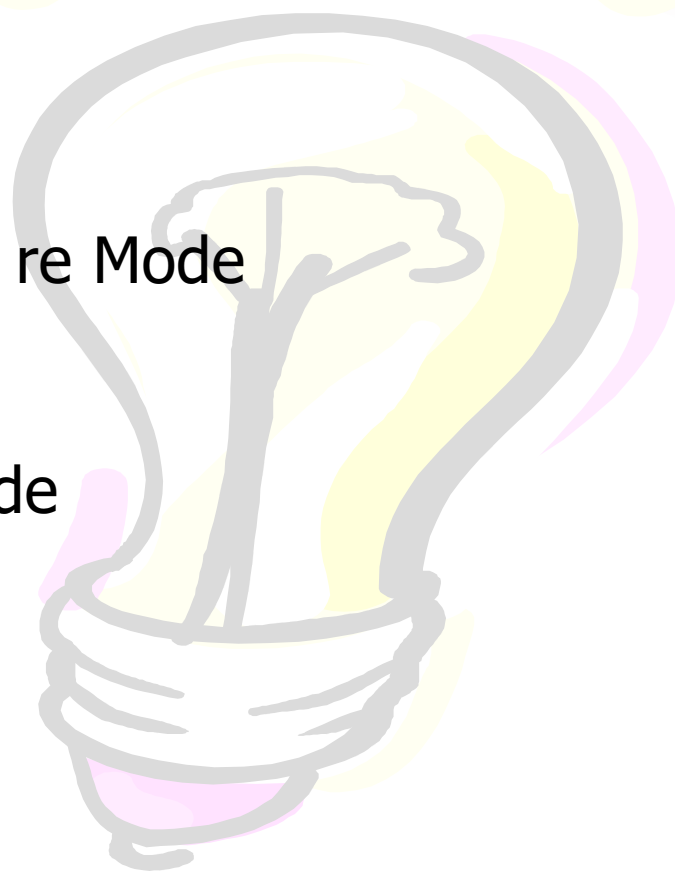
In drahtlosen Netzwerken nach IEEE 802.11 gibt es Infrastructure und Ad Hoc Modus



Der Standard IEEE 802.11 für wireless networks kennt zwei Modi:

• Infrastructure Mode

• Ad Hoc Mode



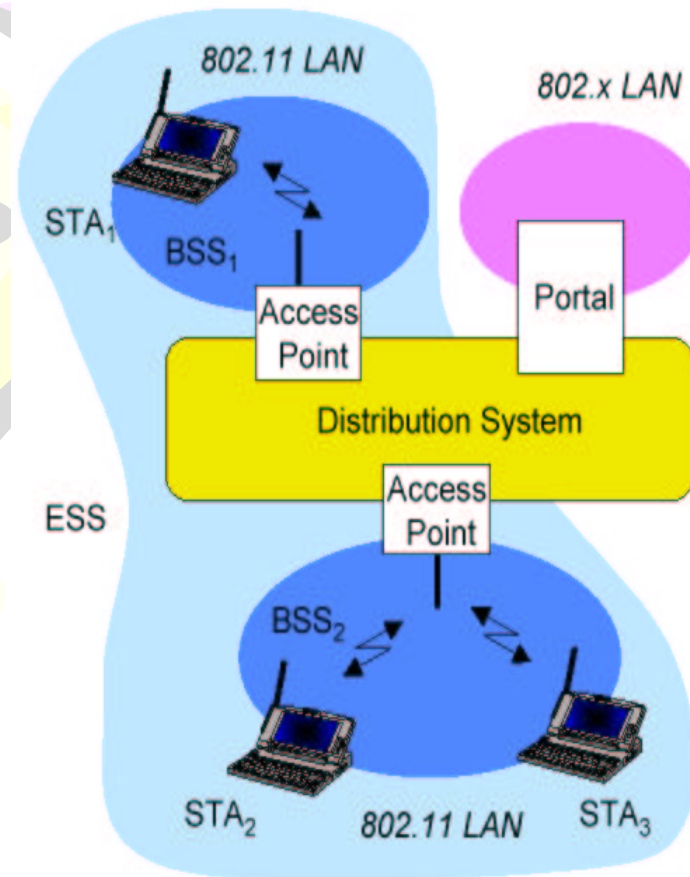
In drahtlosen Netzwerken gibt es Infrastructure und Ad Hoc Modus



Der Standard IEEE 802.11 für wireless networks kennt zwei Modi:

+ Infrastructure Mode

+ Ad Hoc Mode



Drahtlose Ad Hoc Netzwerke

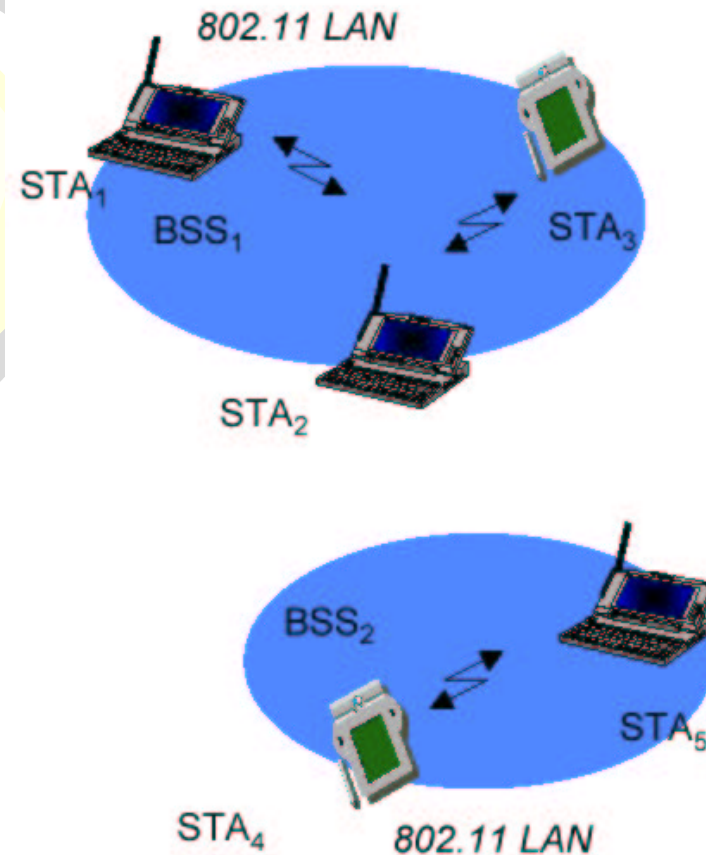
In drahtlosen Netzwerken gibt es Infrastructure und Ad Hoc Modus



Der Standard IEEE 802.11 für wireless networks kennt zwei Modi:

✚ Infrastructure Mode

✚ Ad Hoc Mode



Drahtlose Ad Hoc Netzwerke

Im Ad Hoc Modus erfolgt Kommunikation dezentral



Ad Hoc Modus

- Hosts können sich zufällig nach allen Richtungen bewegen
- Sender und Empfänger kommunizieren direkt miteinander (*Singlehopping*)
- Sender und Empfänger müssen dafür jeweils in Empfangsreichweite liegen
- Kein zentrales Puffern von Daten durch Zentralstation
- Periodisches Schlafen der Hosts möglich
- Ausschließliches Aufwachen bei Bedarf nicht möglich

Aufschlüsselung der MAC Schicht Funktionalitäten

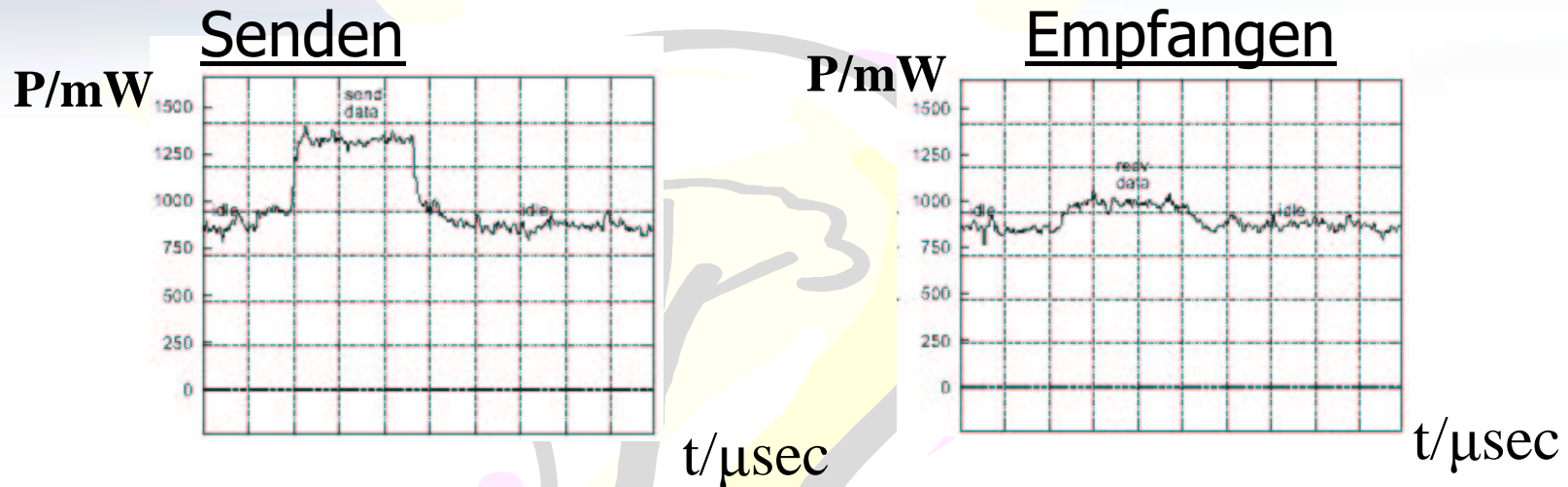


Bei Energiebetrachtungen auf der MAC – Schicht ist zu beachten:

- **Verschiedene Modi**
 - Infrastructure Mode
 - Ad Hoc Mode

- **Verschiedene Aktivitäten**
 - Senden
 - Empfangen

Im Ad Hoc Modus ist die „idle power“ sehr hoch



- Idle Power ca. 900mW
- Leistungsverbrauch beim Senden zusätzlich ca. 500mW

- Idle Power ca. 900mW
- Leistungsverbrauch beim Empfang zusätzlich ca. 200mW

„Idle Power“ reduziert, wenn man
Strategien des Infrastructure Mode emuliert



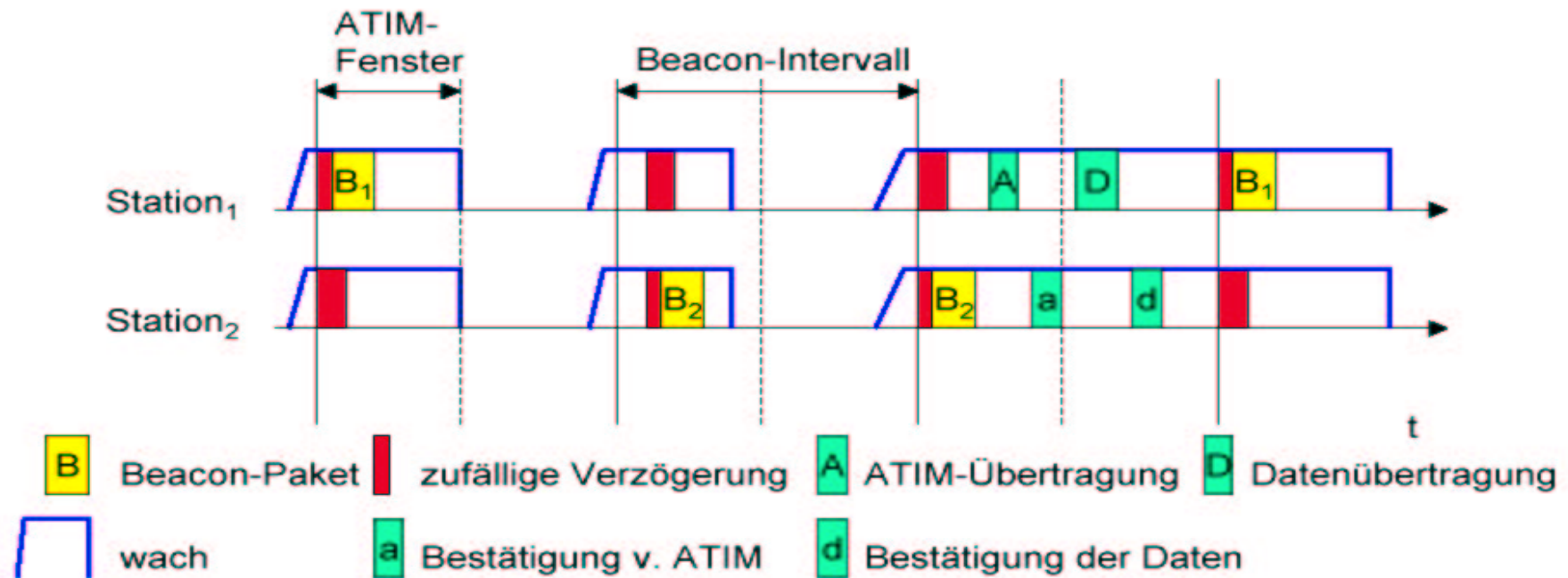
- **Idle Power im Ad Hoc Modus ohne Schlafperioden 13x höher als im Infrastructure Modus**

Abhilfe: Periodisches Schlafen der Hosts, wenn sie weder senden noch empfangen wollen

Nachteile des Verfahrens:

- Skalierbarkeit: Kollisionswahrscheinlichkeit bei großem Netz hoch → Zugriffsverzögerung

Durch periodische Schlafmuster ist Energiesparen möglich



ATIM : Ad Hoc Traffic Indication Map

Beacon: „Leuchtfeuer“



Agenda

- Einleitung
- Power Management in mobilen Computerendgeräten
- Energieuntersuchung von drahtlosen Netzwerken im Ad Hoc Modus
- Effiziente Power Aware Routing Algorithmen in Ad Hoc Netzwerken
- Zusammenfassung

Einsatz von Ad Hoc Modus bei unzureichender nachrichtentechnischer Infrastruktur



- Einsatz in Katastrophengebieten ohne Infrastruktur
- Interaktion zwischen Autos (z.B. für Kinderspiele)
- Schnittstellenbenutzung eines Nachbarrechners für Netzzugang (z.B.: UMTS Mitbenutzung)
- PDA's in Vorlesungen (auch mit Bluetooth)
- Beobachtung von Tierherden



Beim Ad Hoc Routing fungieren alle Hosts dezentral als Router

- Hosts leiten eigenständig für andere Host bestimmten Datenverkehr weiter
 - Hosts arbeiten als Router
- Auf Hostausfälle muss dezentraler Algorithmus im Host *ad hoc* (sofort) reagieren
- *Ad Hoc Routing unterstützt Multihopping:*
Benutzung von Zwischenhosts, wenn Ziel nicht direkt erreichbar ist

Beim Ad Hoc Routing ist Restenergie
wichtig für Netztopologie



Problem im wireless Ad Hoc Modus:

Energiebeschränkte Hosts

- Mobile Geräte haben wegen beschränkter Energiekapazität nur begrenzte Laufzeit
→ Frühe Partitionierung des Netzes möglich

Power Ad Hoc Routing Protokolle müssen Laufzeit der Hosts berücksichtigen



Min Hop Routing

Minimale
Signalverzögerung

MinMax Battery
Cost Routing

Maximale Laufzeit
aller Hosts

Trade Off

MinTransmission
Power Routing

Minimaler Gesamt-
stromverbrauch

Beim Minimum Hop Routing erschöpfen sich bestimmte Hosts sehr schnell



Minimum Hops Routing:

Weg mit den wenigsten Hops zwischen Quelle und Ziel wird als Verbindung gewählt;

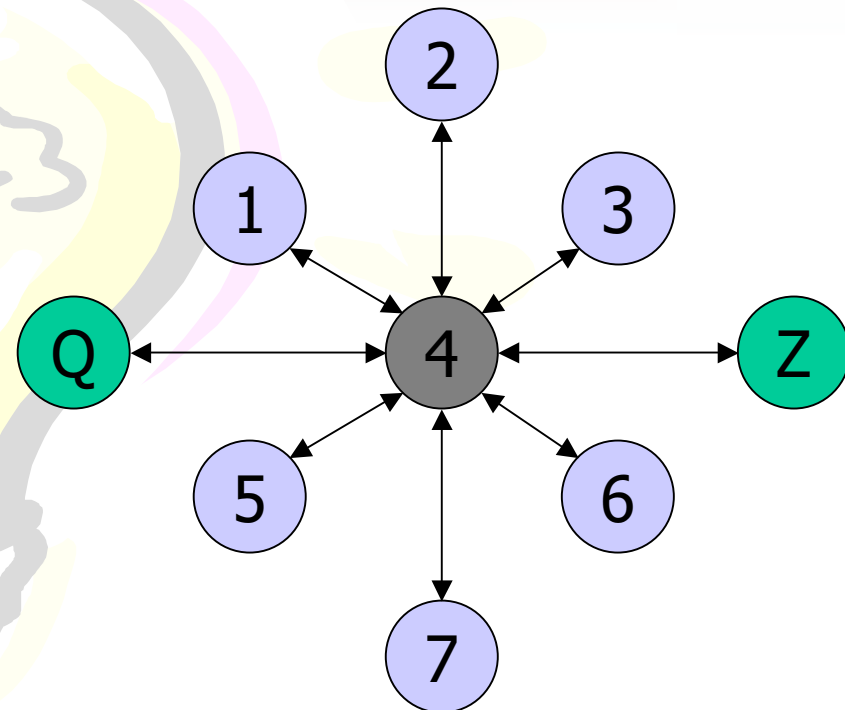
Leistungsverbrauch beim Senden wird nicht berücksichtigt

→ Vorteil:

Geringe Verzögerung

→ Nachteil:

Zentrale Hosts schnell ohne Batteriekapazität





Minimum Transmission Power Routing (MTPR) minimiert gesamte im Netz verbrauchte Leistung

Minimale Übertragungsleistung in drahtloser Kommunikation abhängig von:

- Interferenzen
- Abstand der Hosts zueinander
- Bestimmung einer **Strecke mit minimaler Sendeleistung** durch Dijkstra Algorithmus

Nachteil: Strecken mit kurzen Distanzen und vielen Hops bevorzugt

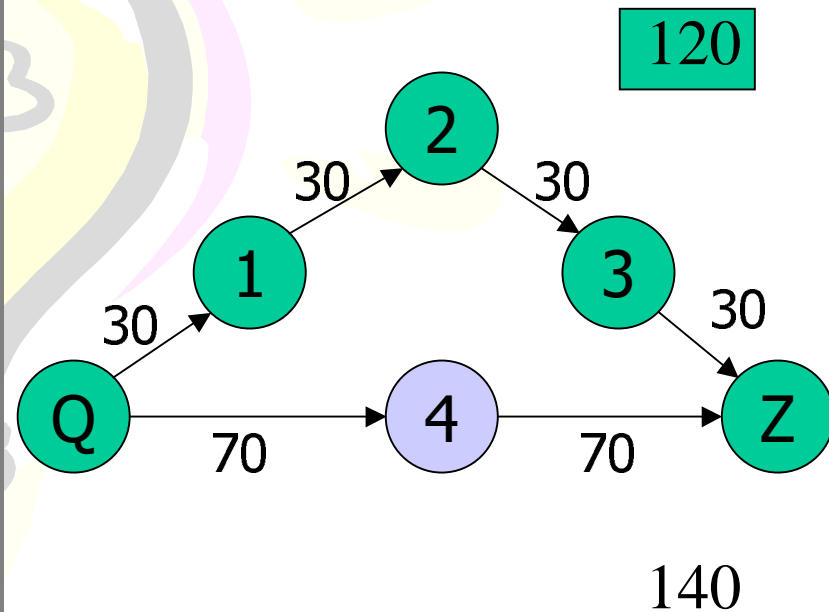
→ Große Verzögerung

Bei Berücksichtigung von Empfangsleistung in MTPR wird ein Weg mit weniger Hops gewählt



Verbesserung:

- Berücksichtigung von Transmission- und Transceiver- Leistung
- Transceiver – Leistung bei gleichen Netzwerkkarten gleich hoch → weniger Hops
- Weg mit Minimalleistung wird durch verteilten *Bellmann – Ford – Algorithmus* bestimmt

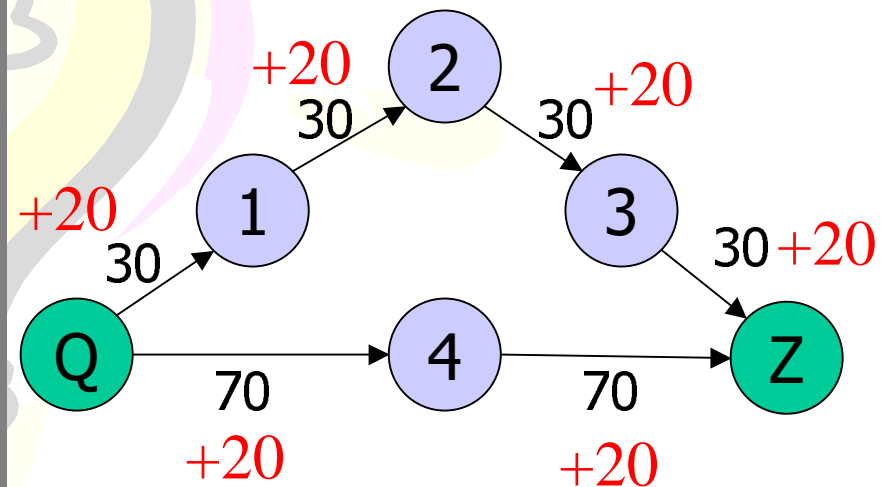


Bei Berücksichtigung von Empfangsleistung in MTPR wird Weg mit weniger Hops gewählt



Verbesserung:

- Berücksichtigung von Transmission- und Transceiver- Leistung
- Transceiver – Leistung bei gleichen Netzwerkkarten gleich hoch → weniger Hops
- Weg mit Minimalleistung wird durch verteilten *Bellmann – Ford – Algorithmus* bestimmt

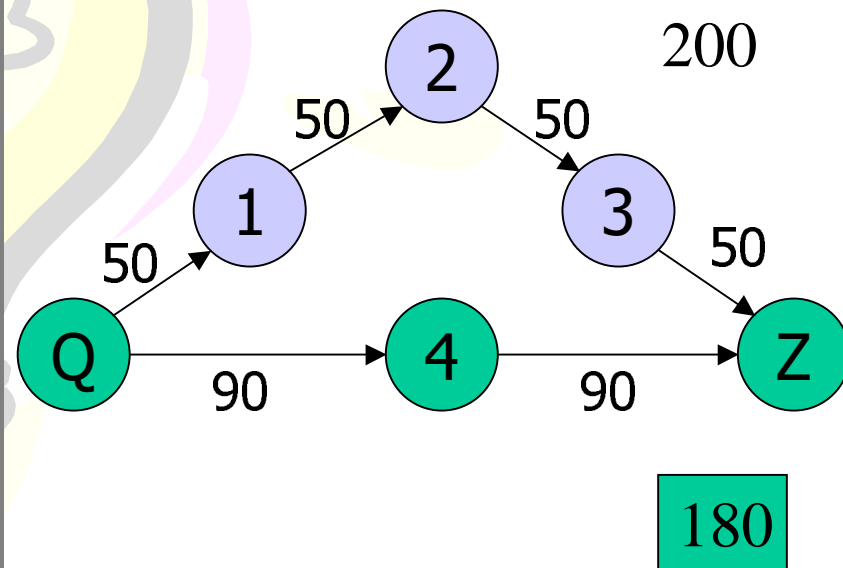


Bei Berücksichtigung von Empfangsleistung in MTPR wird ein Weg mit weniger Hops gewählt



Verbesserung:

- Berücksichtigung von Transmission- und Transceiver- Leistung
- Transceiver – Leistung bei gleichen Netzwerkkarten gleich hoch → weniger Hops
- Weg mit Minimalleistung wird durch verteilten *Bellmann – Ford – Algorithmus* bestimmt



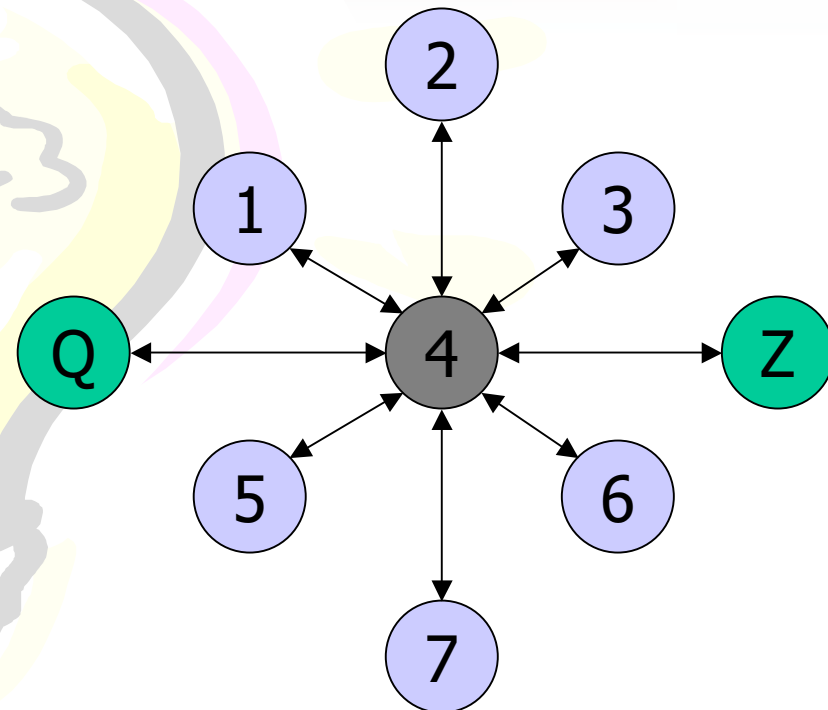
Bei Wahl eines Weges mit weniger Hops werden zentrale Hosts stark beansprucht



Strategie ähnlich dem reinen Minimum Hop Routing:

Problem :

Schnelle Entladung zentraler Hosts



Power Ad Hoc Routing Protokolle müssen Laufzeit der Hosts berücksichtigen



Min Hop Routing

Minimale
Signalverzögerung

MinMax Battery
Cost Routing

Maximale Laufzeit
aller Hosts

Trade Off

MinTransmission
Power Routing

Minimaler Gesamt-
stromverbrauch

Beim MBCR wird Batterierestkapazität über Kostenfunktion berücksichtigt



Einführung einer **Batteriekostenfunktion** für Hosts in Abhängigkeit der verbliebenen Batteriekapazität:

$$f_i(c_i^t) = \frac{1}{c_i^t}$$

c_i^t : Batteriekapazität von Host i in t

Vorteil:

- ✓ Berücksichtigung kapazitätsschwacher Hosts

Beim MBCR wird der Weg mit den geringsten Batteriekosten gewählt



Minimum Batterie Cost Routing

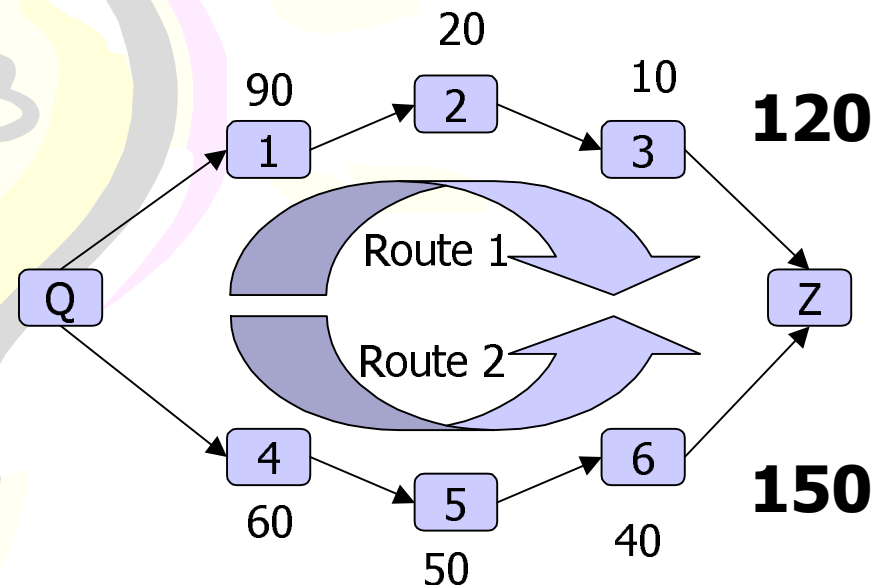
Für Kosten entlang einer aus D Hosts bestehenden Strecke gilt:

$$R_j = \sum_{i=0}^{D_j-1} f_i(c_i^t)$$

Wähle die Route mit den geringsten Kosten:

$$R_i = \min (R_j | j \in A) ;$$

A: Menge aller möglichen Wege



Beim MBCR wird der Weg mit den geringsten Batteriekosten gewählt



Minimum Batterie Cost Routing

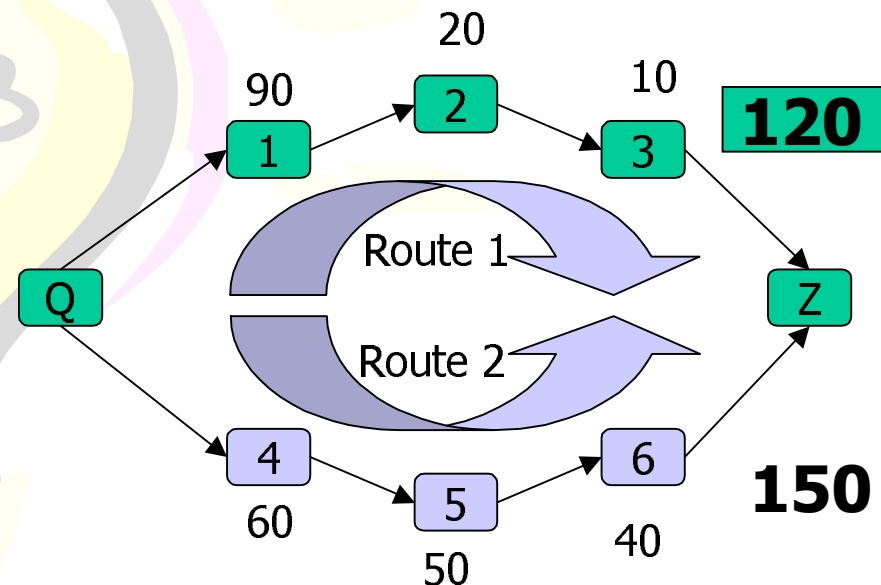
Für die Kosten entlang einer aus D Hosts bestehenden Strecke ergibt sich:

$$R_j = \sum_{i=0}^{D_j-1} f_i(c_i^t)$$

Wähle die Route mit den geringsten Kosten:

$$R_i = \min (R_j | j \in A) ;$$

A: Menge aller möglichen Wege



Beim MBCR wird der Weg mit den geringsten Batteriekosten gewählt



Minimum Batterie Cost Routing

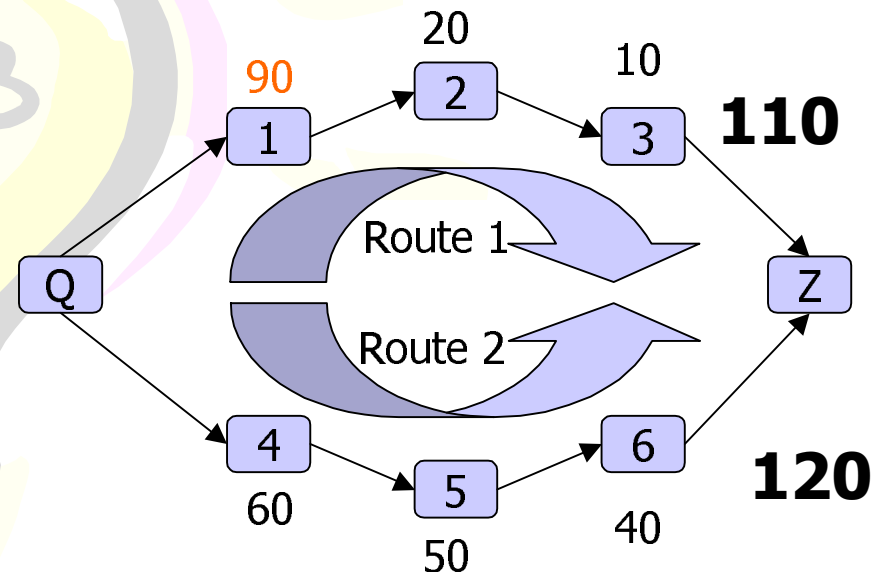
Nachteil:

Route 1 hat geringere Gesamtkosten, aber besitzt relativ batterieschwachen Host (1)

Verbesserung:

Wähle Route mit kleinstem Maximalwert entlang eines Weges:

MinMax Battery Cost Routing



Beim MBCR wird der Weg mit den geringsten Batteriekosten gewählt



Minimum Batterie Cost Routing

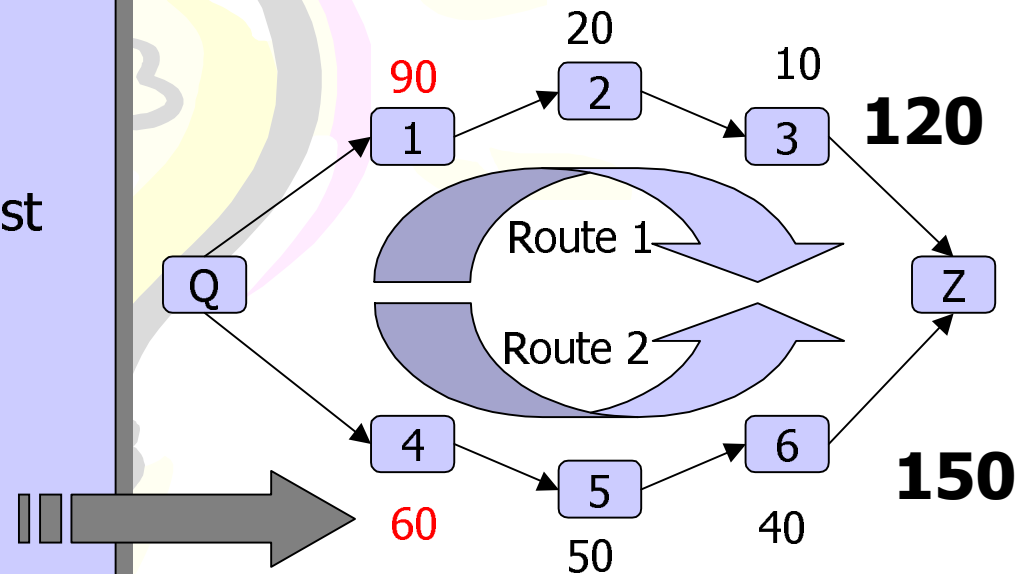
Nachteil:

Route 1 hat geringere Gesamtkosten, aber besitzt relativ batterieschwachen Host (1)

Verbesserung:

Wähle Route mit kleinstem Maximalwert entlang eines Weges:

MinMax BatteryCost Routing



Beim MinMax BCR wird der von allen Wegen minimale



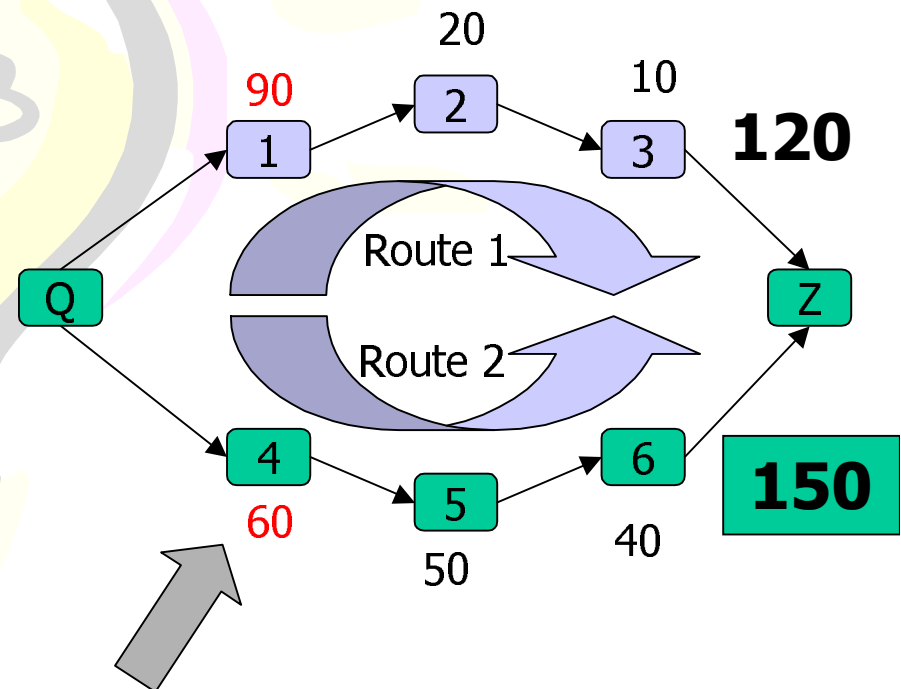
MinMax Batterie Cost Routing

Vorteil:

- ✓ Batterieschwache Hosts werden gemieden

Nachteil:

- Wahl eines Weges mit minimaler Übertragungsleistung nicht garantiert
- Belastung des Netzes
- Kürzere Laufzeitdauer der Hosts



Power Ad Hoc Routing Protokolle müssen Laufzeit der Hosts berücksichtigen

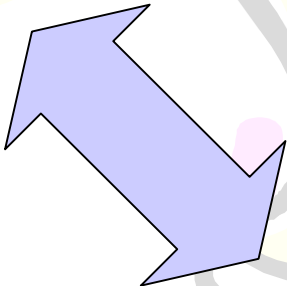
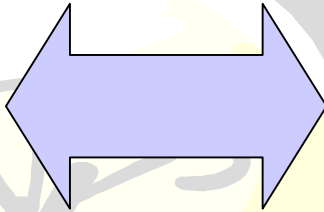


Min Hop Routing

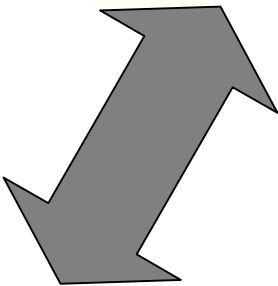
Minimale
Signalverzögerung

MinMax Battery
Cost Routing

Maximale Laufzeit
aller Hosts



Trade Off



MinTransmission
Power Routing

Minimaler Gesamt-
stromverbrauch

Durch Conditional MaxMin BatterieCapacity Routing (CMMBCR) Kombination von MTPR und MMBCR Vorteilen



Lassen sich die Ziele

- **Minimale Gesamtenergie**
- **Maximale Laufzeit der Hosts**

vereinbaren?

Idee: Einführung eines **Schwellenwertes** für Batteriekapazität:

→ Bei kapazitätsstarken Netzen Einsatz von MTPR, sonst Verwendung des MMBCR Algorithmus



Einführung eines Schwellenwertes zur Vereinbarung der Zielkriterien

Sei Batteriekapazität R_j^c für Route j zum Zeitpunkt t :

$$R_j^c = \min_{i \in \text{route } j} C_i^t$$

1. Fall:

A: Menge aller Wege zwischen Quelle und Ziel mit

$$R_j^c > \gamma \quad j \in A \quad \text{nicht leer!}$$

(γ : vorgegebener Schwellenwert zwischen 0 und 100% Kapazität)

→ Ausreichende Batteriekapazität vorhanden

→ Wähle **Minimum Transmission Power Routing**

Verhalten des CMMBCR von γ abhängig



2.Fall:

Schwellenwert auf allen Wegen von wenigstens einem Host unterschritten

→ Wähle Weg mit maximaler Batteriekapazität der jeweils schwächsten Hosts auf allen Wegen j

Extremfälle:

1. $\gamma = 0$: Wähle immer MTPR!
2. $\gamma = 100$: Wähle immer MMBCR!

→ Verhalten des Algorithmus von γ abhängig!

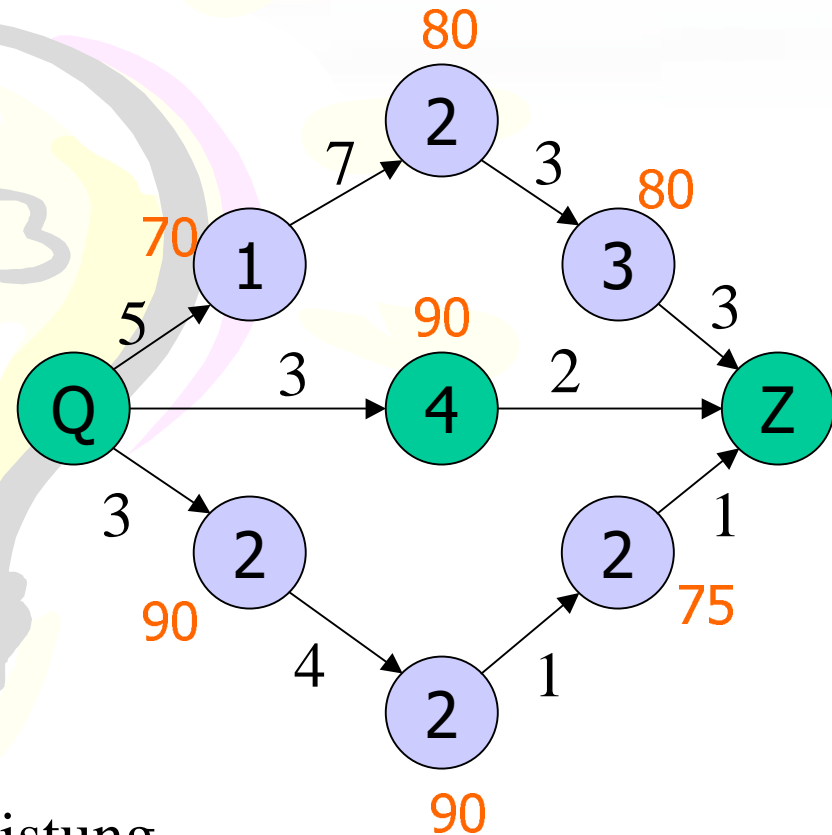
1. Fall: Wähle Minimum Total Transmission Power Routing



Sei $\gamma = 65$;

Alle Hosts besitzen
ausreichende Kapazitäten;

Wähle MTPR Algorithmus!



Batteriekapazität, Übertragungsleistung

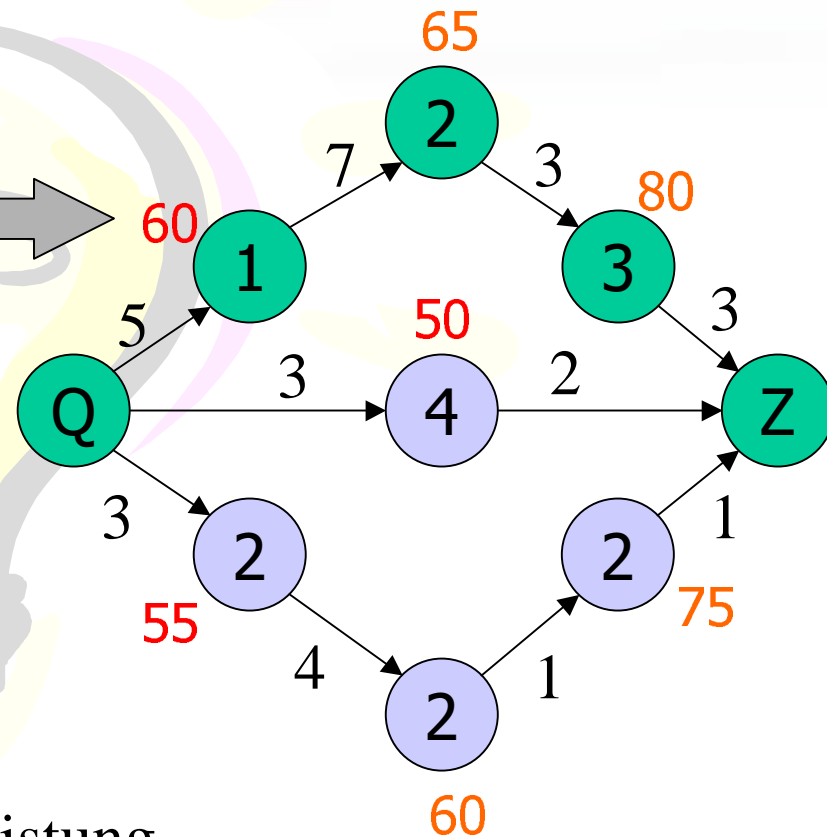


2. Fall: Wähle MaxMin Battery Capacity Routing

Sei $\gamma = 65$;

Hosts besitzen keine ausreichende Kapazitäten;

Wähle MMBCR Algorithmus!



Batteriekapazität, Übertragungsleistung

Agenda

- Einleitung
- Power Management in mobilen Computerendgeräten
- Energieuntersuchung von drahtlosen Netzwerken im Ad Hoc Modus
- Effiziente Power Routing Algorithmen in Ad Hoc Netzwerken
- Zusammenfassung



Energieersparnis auf der Hardwareebene

Betrachtung von Energieersparnissen auf verschiedenen Ebenen



- Verringerung der Versorgungsspannung für CPU
- „Spin down“ Modus für Festplatte



Energieersparnis auf der MAC Schicht

Betrachtung von Energieersparnissen auf verschiedenen Ebenen



- Periodisches Schalten von Hosts in den Schlafmodus
 - Geringere Idle Power

Energieersparnis auf der IP Schicht – CMMBCR



Betrachtung von Energieersparnissen auf verschiedenen Ebenen



- Entwicklung des **Conditional MaxMin Battery Capacity Routings**
 - Kombination der Ziele:
 - Gesamtenergieminimierung
 - Maximierung der einzelnen Batterielaufzeiten