

# ExOR: Extreme Opportunistic Multi-Hop Routing for Wireless Networks

Technische Universität Berlin  
Fakultät IV: Elektrotechnik und Informatik  
Fachgebiet INET

Seminar „Network Architectures: Internet Routing“  
Wintersemester 2007/2008  
Christian Deutschmann

# Überblick

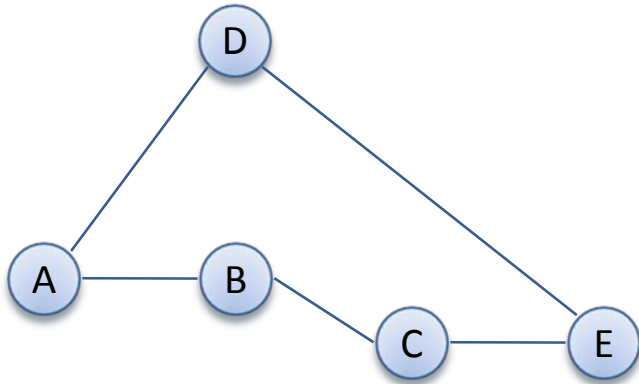
- Einleitung
- Funktionsweise von ExOR
- Beispiel ExOR
- Messergebnisse
- Fazit

ExOR: Extreme Opportunistic Multi-Hop Routing for Wireless Networks

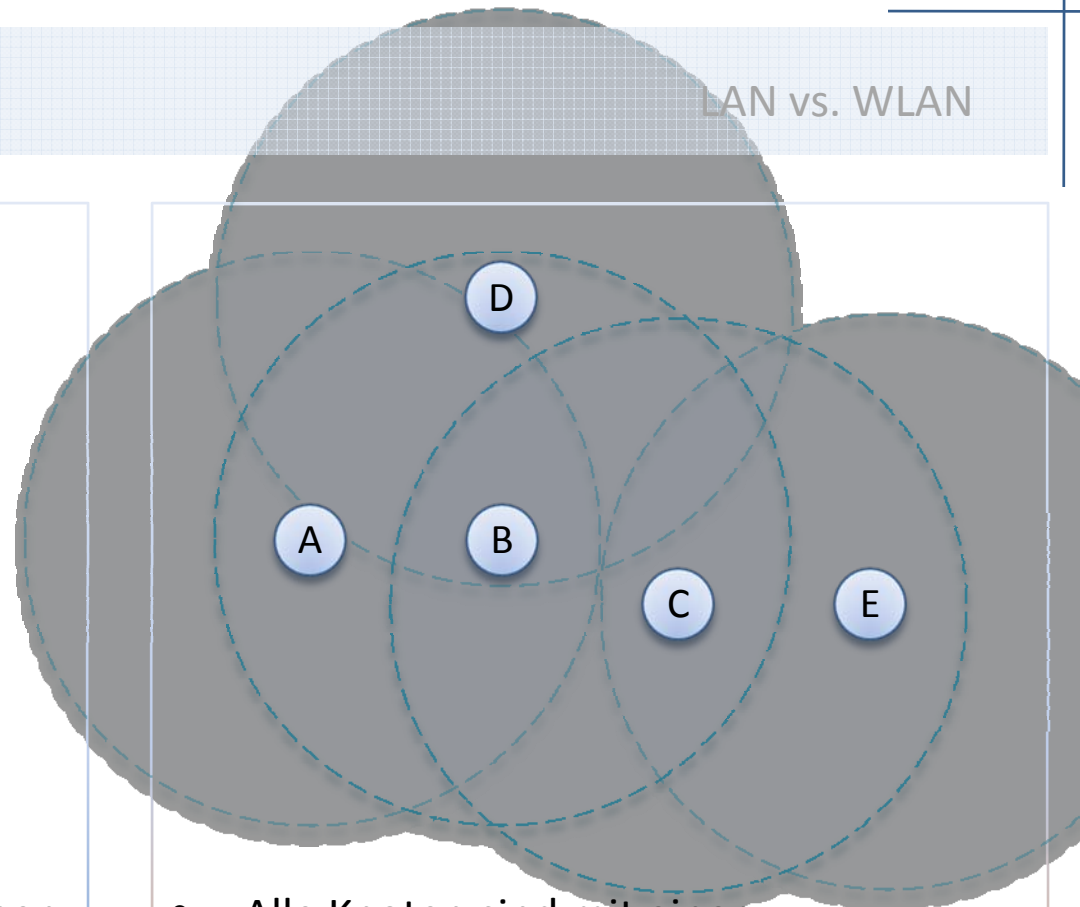
# Einleitung

- Warum benötigen wir neue Routing-Protokolle für drahtlose Netzwerke?
- Traditionelle Protokolle...
  - wurden für drahtlose Netzwerke konzipiert
  - gehen von reinen Punkt-zu-Punkt-Verbindungen aus...

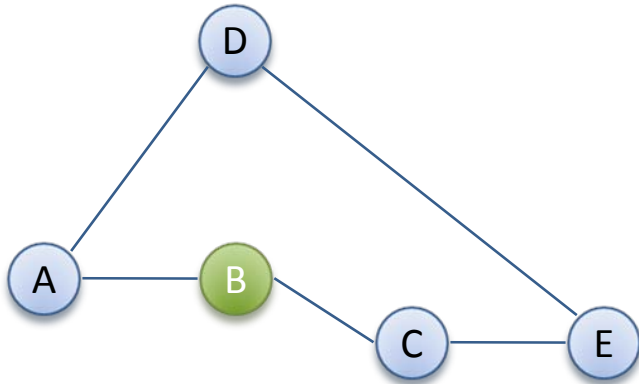
# Einleitung



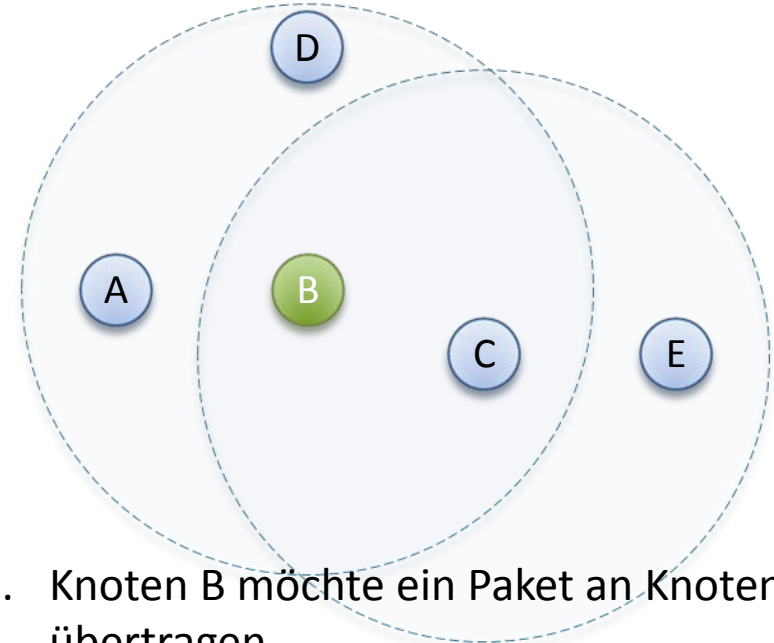
- Punkt-zu-Punkt-Verbindungen zwischen den Knoten
- Kollisionen nur beim Senden/Empfangen auf der selben Verbindung



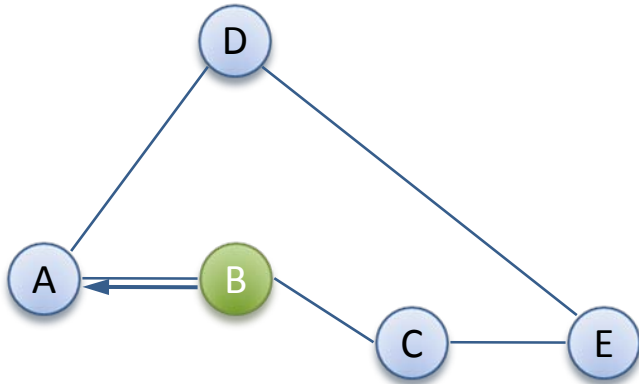
- Alle Knoten sind mit einer Wahrscheinlichkeit größer Null miteinander verbunden
- Kollisionen sobald zwei Knoten in Funkreichweite gleichzeitig senden



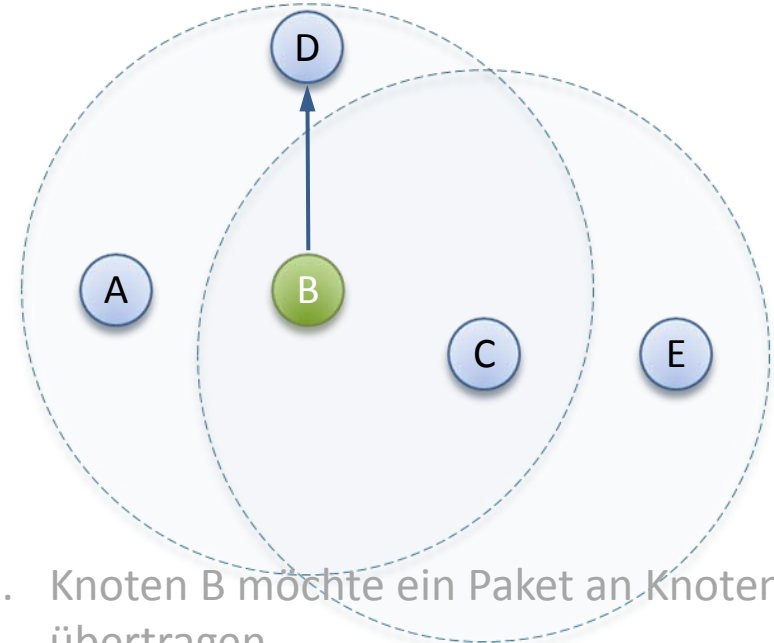
1. Knoten B möchte ein Paket an Knoten D übertragen
2. Knoten B sendet an Knoten A
3. Knoten A hat das Paket erfolgreich empfangen und sendet es an Knoten D
4. Knoten D hat das Paket erfolgreich empfangen



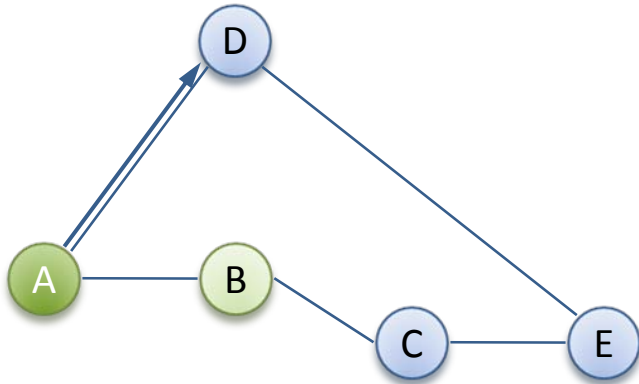
1. Knoten B möchte ein Paket an Knoten D übertragen
2. Knoten B sendet direkt an Knoten D
3. Knoten D hat das Paket erfolgreich empfangen



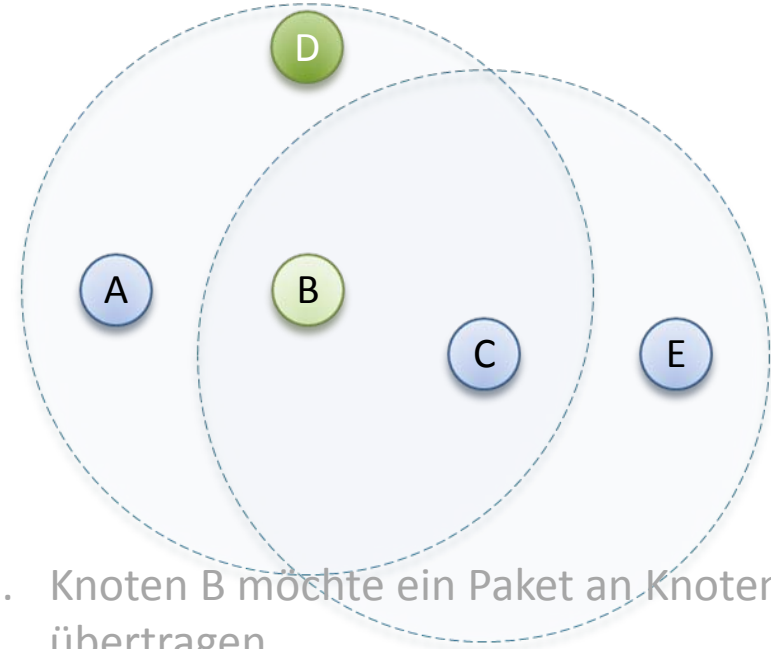
1. Knoten B möchte ein Paket an Knoten D übertragen
2. Knoten B sendet an Knoten A
3. Knoten A hat das Paket erfolgreich empfangen und sendet es an Knoten D
4. Knoten D hat das Paket erfolgreich empfangen



1. Knoten B möchte ein Paket an Knoten D übertragen
2. Knoten B sendet direkt an Knoten D
3. Knoten D hat das Paket erfolgreich empfangen

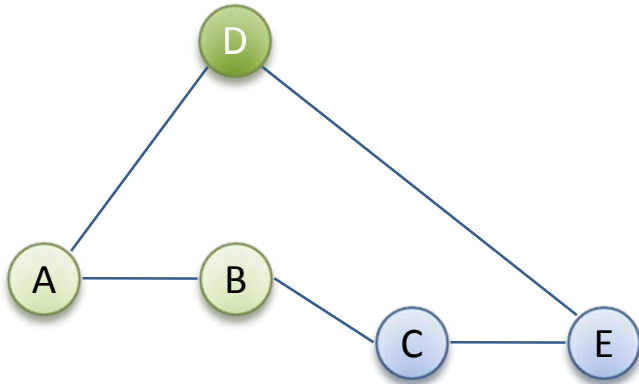


1. Knoten B möchte ein Paket an Knoten D übertragen
2. Knoten B sendet an Knoten A
3. Knoten A hat das Paket erfolgreich empfangen und sendet es an Knoten D
4. Knoten D hat das Paket erfolgreich empfangen

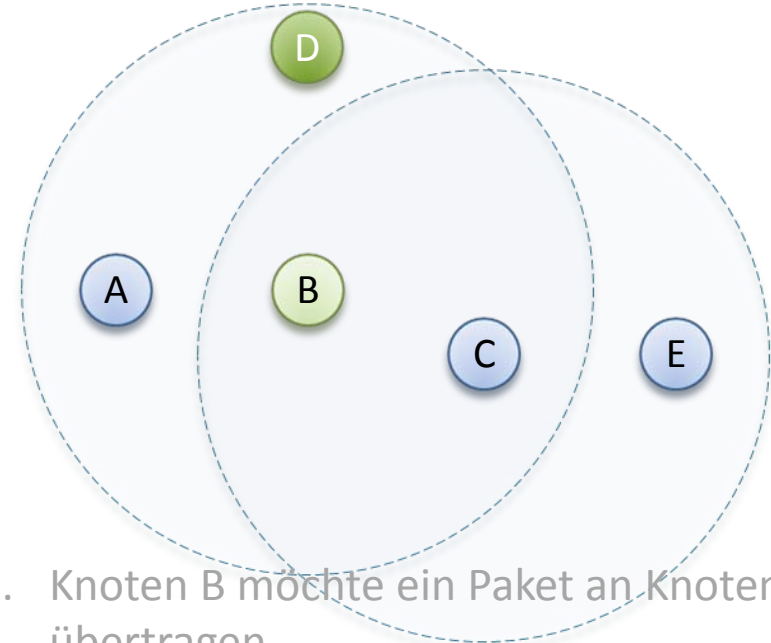


1. Knoten B möchte ein Paket an Knoten D übertragen
2. Knoten B sendet direkt an Knoten D
3. Knoten D hat das Paket erfolgreich empfangen

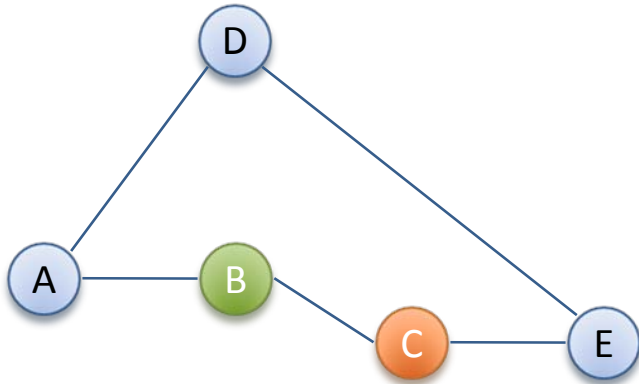




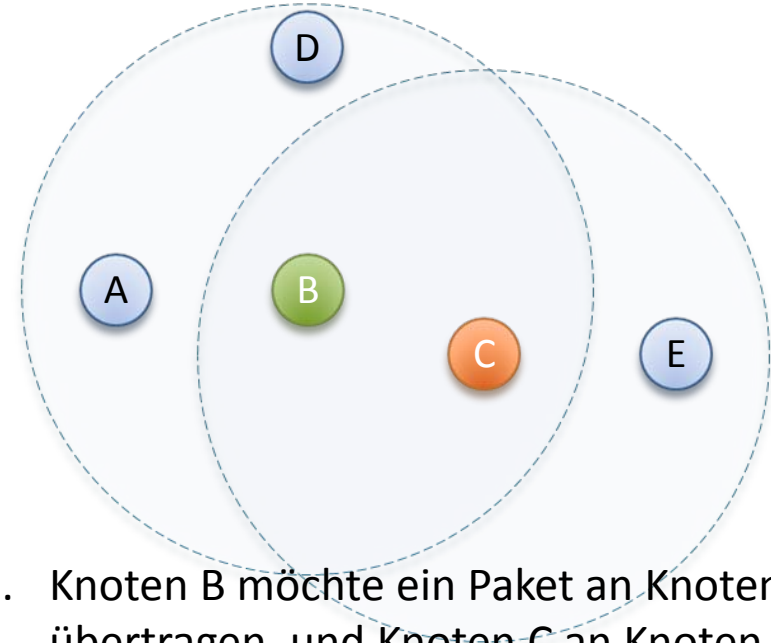
1. Knoten B möchte ein Paket an Knoten D übertragen
2. Knoten B sendet an Knoten A
3. Knoten A hat das Paket erfolgreich empfangen und sendet es an Knoten D
4. Knoten D hat das Paket erfolgreich empfangen



1. Knoten B möchte ein Paket an Knoten D übertragen
2. Knoten B sendet direkt an Knoten D
3. Knoten D hat das Paket erfolgreich empfangen

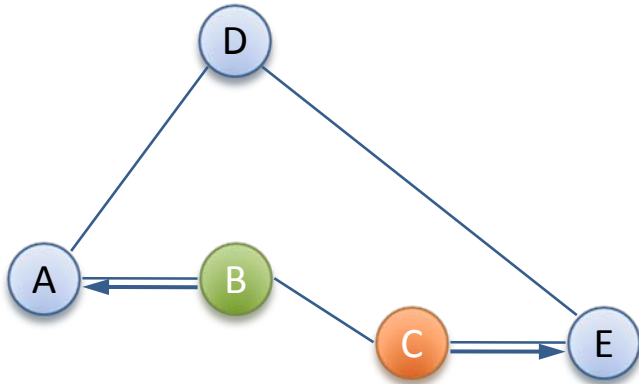


1. Knoten B möchte ein Paket an Knoten D übertragen, und Knoten C and Knoten E
2. Knoten B sendet an Knoten A, und Knoten C sendet an Knoten E
3. Knoten A hat das Paket erfolgreich empfangen und sendet es an Knoten D
4. Knoten D hat das Paket erfolgreich empfangen

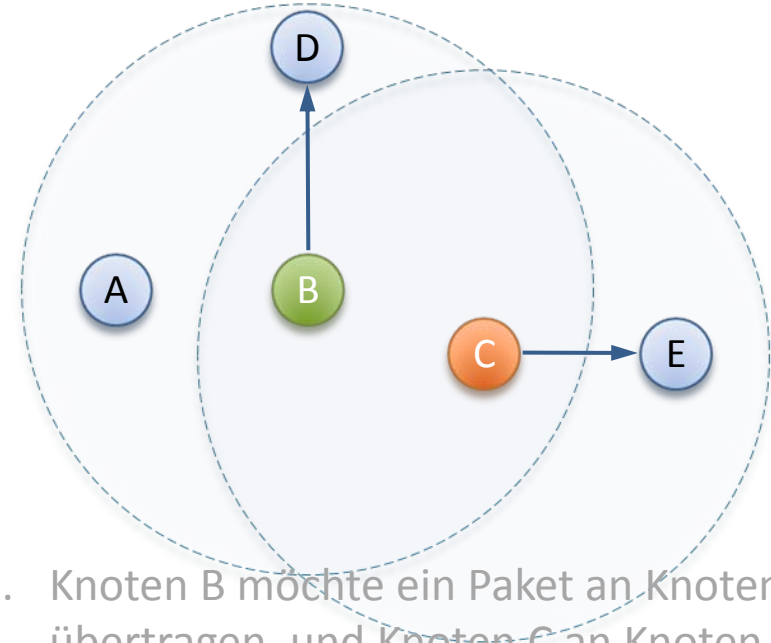


1. Knoten B möchte ein Paket an Knoten D übertragen, und Knoten C an Knoten E
2. Knoten B sendet direkt an Knoten D, und Knoten C sendet direkt an Knoten E
3. Ohne CSMA/CA kommt es zur Kollision

CSMA/CA: Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance

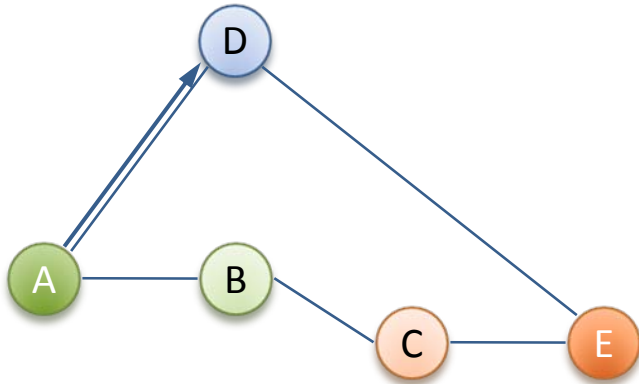


1. Knoten B möchte ein Paket an Knoten D übertragen, und Knoten C and Knoten E
2. Knoten B sendet an Knoten A, und Knoten C sendet an Knoten E
3. Knoten A hat das Paket erfolgreich empfangen und sendet es an Knoten D
4. Knoten D hat das Paket erfolgreich empfangen

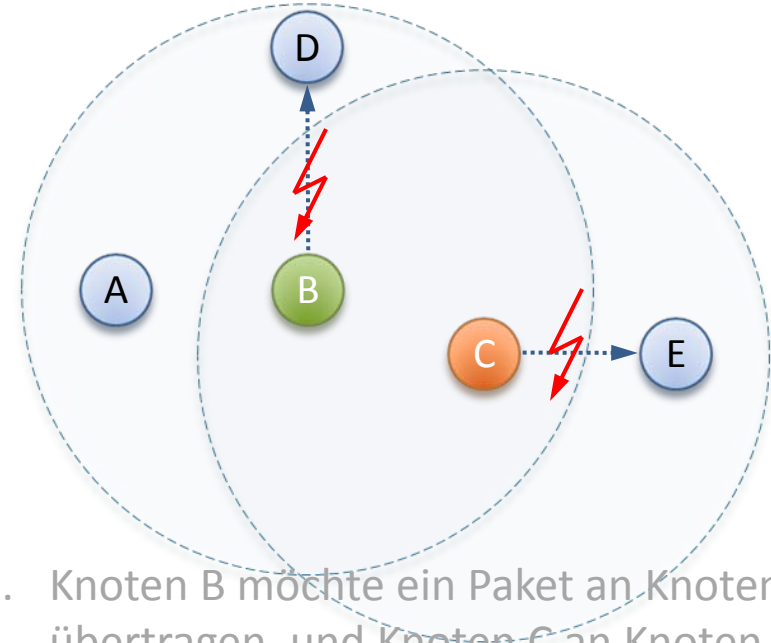


1. Knoten B möchte ein Paket an Knoten D übertragen, und Knoten C an Knoten E
2. Knoten B sendet direkt an Knoten D, und Knoten C sendet direkt an Knoten E
3. Ohne CSMA/CA kommt es zur Kollision

CSMA/CA: Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance

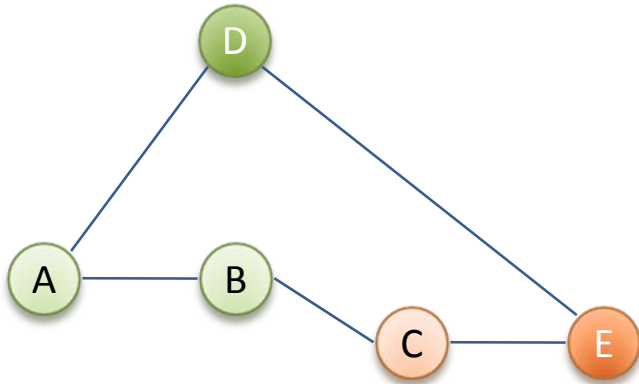


1. Knoten B möchte ein Paket an Knoten D übertragen, und Knoten C and Knoten E
2. Knoten B sendet an Knoten A, und Knoten C sendet an Knoten E
3. Knoten A hat das Paket erfolgreich empfangen und sendet es an Knoten D
4. Knoten D hat das Paket erfolgreich empfangen

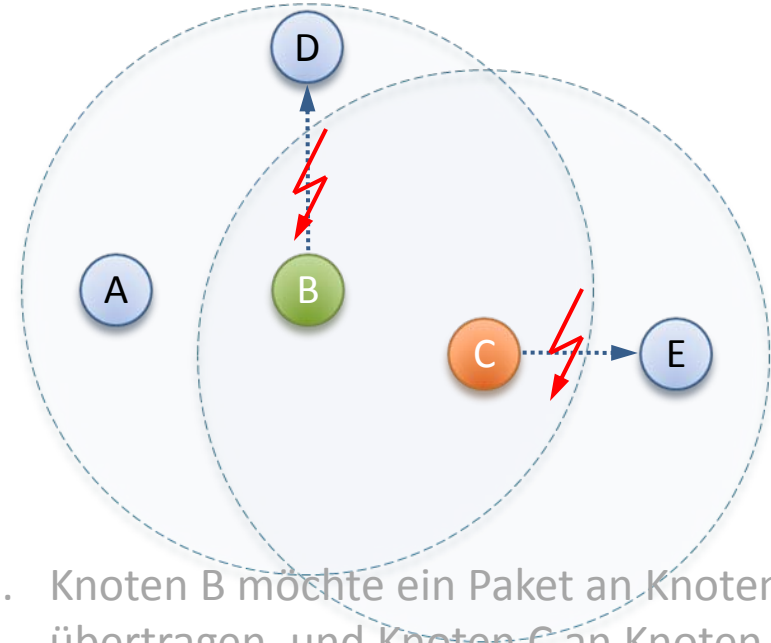


1. Knoten B möchte ein Paket an Knoten D übertragen, und Knoten C an Knoten E
2. Knoten B sendet direkt an Knoten D, und Knoten C sendet direkt an Knoten E
3. **Ohne CSMA/CA kommt es zur Kollision**

CSMA/CA: Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance



1. Knoten B möchte ein Paket an Knoten D übertragen, und Knoten C and Knoten E
2. Knoten B sendet an Knoten A, und Knoten C sendet an Knoten E
3. Knoten A hat das Paket erfolgreich empfangen und sendet es an Knoten D
4. Knoten D hat das Paket erfolgreich empfangen



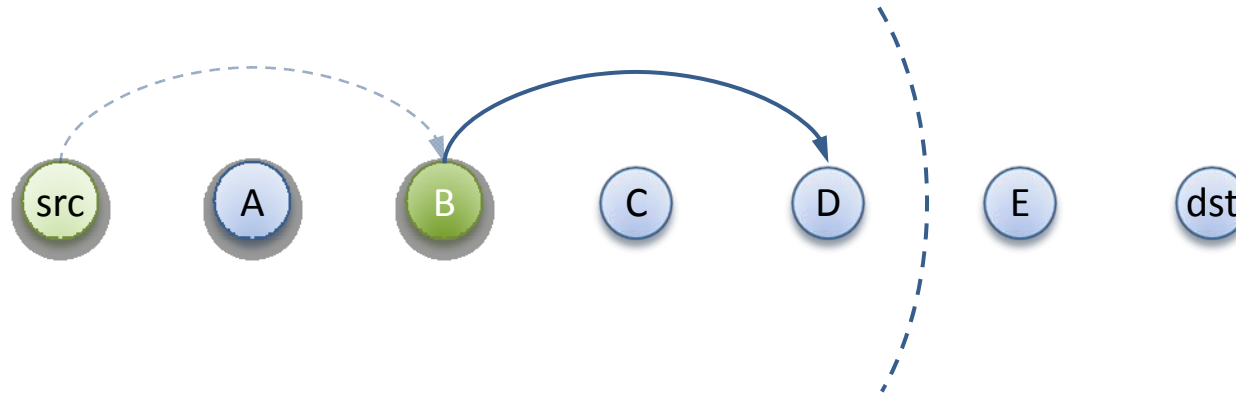
1. Knoten B möchte ein Paket an Knoten D übertragen, und Knoten C an Knoten E
2. Knoten B sendet direkt an Knoten D, und Knoten C sendet direkt an Knoten E
3. **Ohne CSMA/CA kommt es zur Kollision**

CSMA/CA: Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance

- Sanjit Biswas und Robert Morris  
M.I.T. Computer Science and Artificial Intelligence Laboratory
- ExOR ist ein opportunistisches Routingprotokoll, basierend auf dem „Cooperative Diversity Scheme“
- Nutzung der Vorteile von Broadcast in drahtlosen Netzwerken
- Pakete können über mehrere Routen übertragen werden
- Höherer Durchsatz gegenüber traditionellen Protokollen

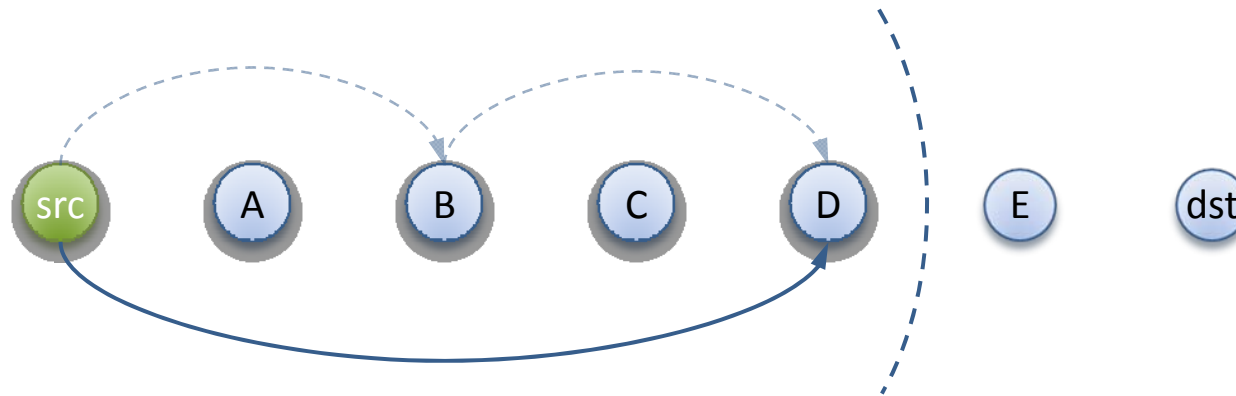
ExOR: Extreme Opportunistic Multi-Hop Routing for Wireless Networks

## **Funktionsweise von ExOR**

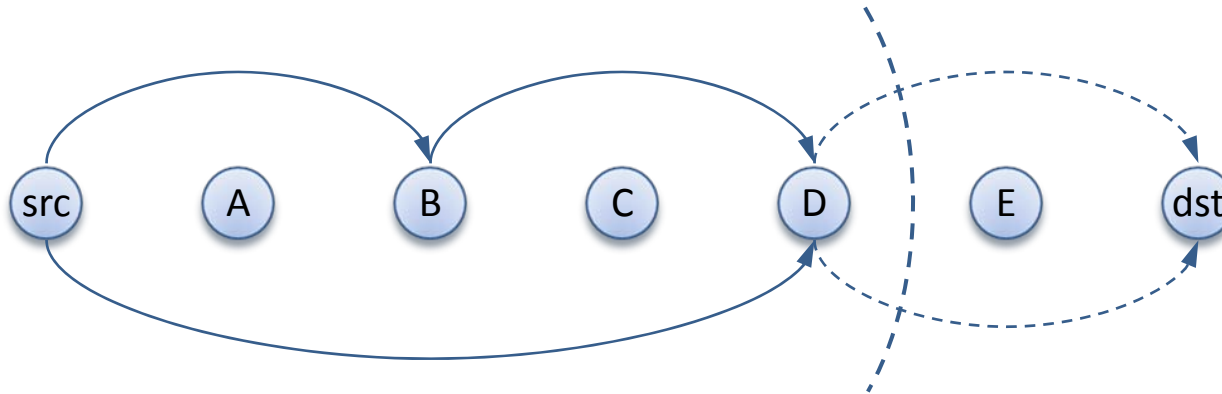


- Traditionelle Protokolle senden über die selbe Sequenz von Knoten
- ExOR kann von zufälligen Gelegenheiten profitieren

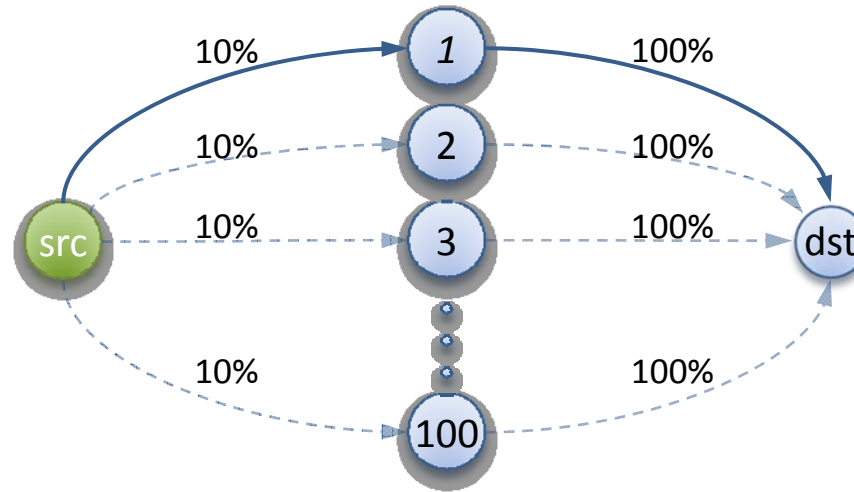




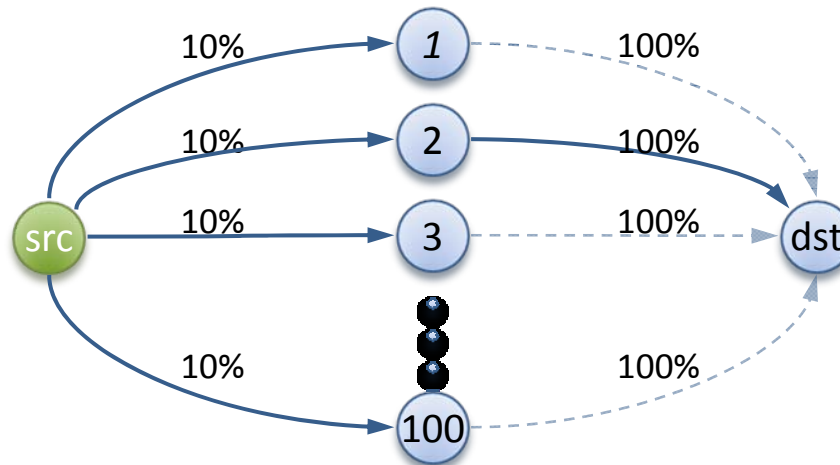
- Traditionelle Protokolle senden über die selbe Sequenz von Knoten
- ExOR kann von zufälligen Gelegenheiten profitieren



- Traditionelle Protokolle senden über die selbe Sequenz von Knoten
- ExOR kann von zufälligen Gelegenheiten profitieren



- Traditionelle Protokolle senden über die selbe Sequenz von Knoten
- ExOR kann von zufälligen Gelegenheiten profitieren



- Traditionelle Protokolle senden über die selbe Sequenz von Knoten
- ExOR kann von zufälligen Gelegenheiten profitieren

- Agreement-Protokoll darf nur einen geringen Overhead haben.
- Kosten für die Übertragung sollen so gering wie möglich sein.
  - Der Knoten, welcher dem Zielknoten am nächsten ist, soll das Paket weiterleiten.
  - Metrik für die Kosten der Übertragung wird benötigt.
  - Auswahl der nützlichsten Knoten für die Übertragung.
- Anzahl der Kollision soll so gering wie möglich sein

Ethernet Header			
Ver	HdrLen	PayloadLen	
Batch ID			
PktNum	BatchSz	FragNum	FragSz
FwdListSize		ForwarderNum	
Forwarder List			
Batch Map			
Checksum			
Payload			

- Jeder Knoten verwaltet einen „Batch“, in dem alle Pakete gespeichert werden
- Die „Batch-Map“ gibt an, welcher Knoten höherer Priorität die Pakete empfangen hat
- Der Quellknoten erstellt eine „Forwarder List“ in der alle teilnehmenden Knoten nach Priorität geordnet sind

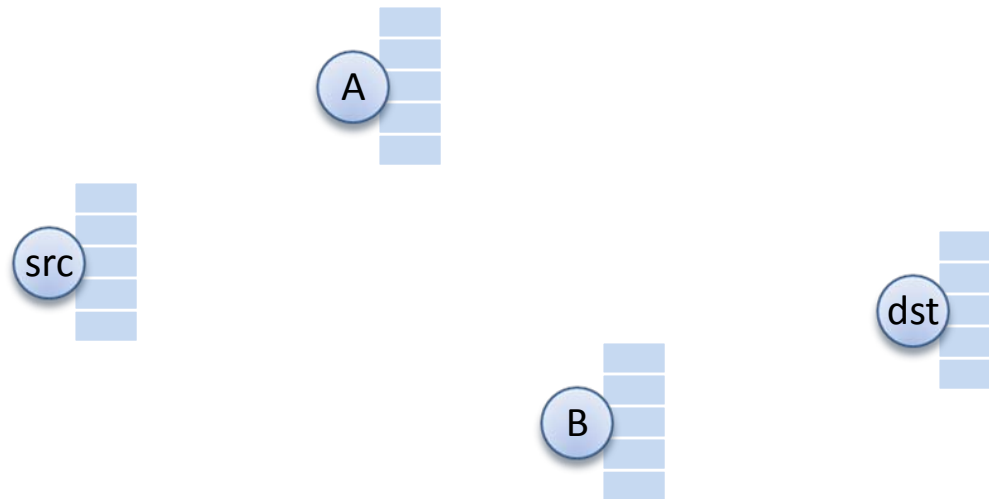
# ExOR Design: Umsetzung

- Jeder Knoten hat einen „Forwarding Timer“ der Angibt, wann ein Knoten senden darf
- Ein „Transmission Tracker“ hört den Datenverkehr ab und setzt den „Forwarding Timer“ in Abhängigkeit des Datenverkehrs.

ExOR: Extreme Opportunistic Multi-Hop Routing for Wireless Networks

## Beispiel ExOR

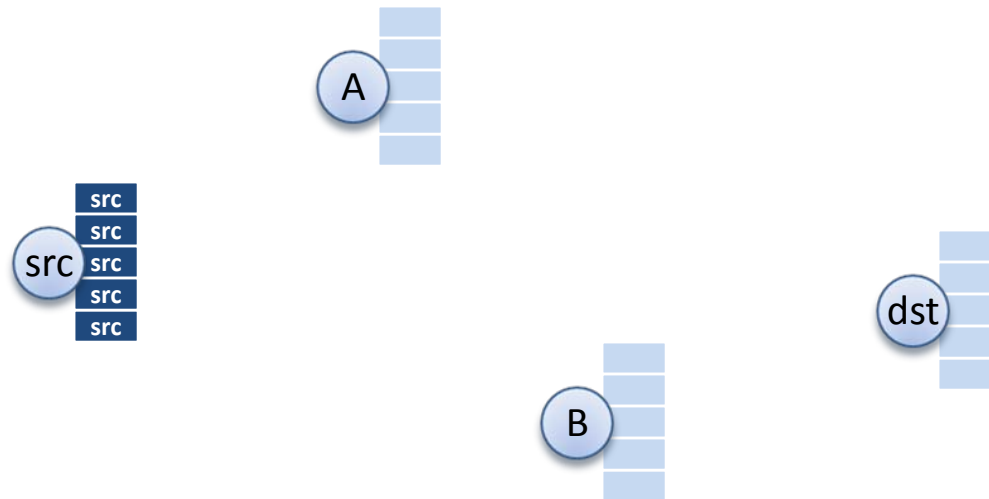




1. Knoten SRC möchte an Knoten DST senden
2. Knoten SRC sammelt alle Pakete in einem „Batch“, erstellt eine „Forwarder-Liste“ und sendet den „Batch“ via Broadcast
3. Knoten A, B und DST empfangen einen Teil des „Batches“ und aktualisieren ihre „Batch Map“
4. Knoten DST sendet seine „Batch Map“

# Funktionsweise von ExOR

Beispiel



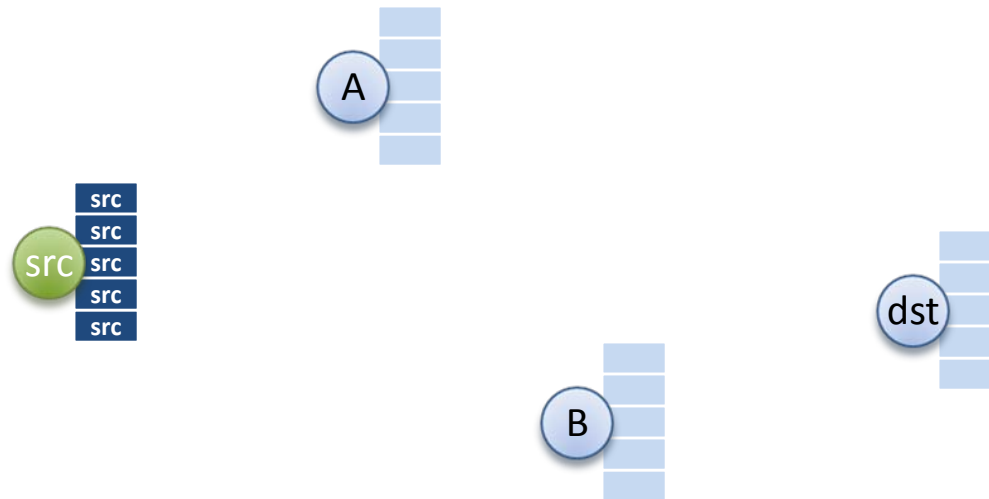
dst | B | A | src

1. Knoten SRC möchte an den Knoten DST senden.
2. Knoten SRC sammelt alle Pakete in einem „Batch“, erstellt eine „Forwarder-Liste“ und sendet den „Batch“ via Broadcast.
3. Knoten A, B und DST empfangen einen Teil des „Batches“ und aktualisieren ihre „Batch Map“.
4. Knoten DST sendet seine „Batch Map“.

Quelle:  
Seungyeop Han and Toan Dinh Tran  
Korea Advanced Institute of Science and Technology

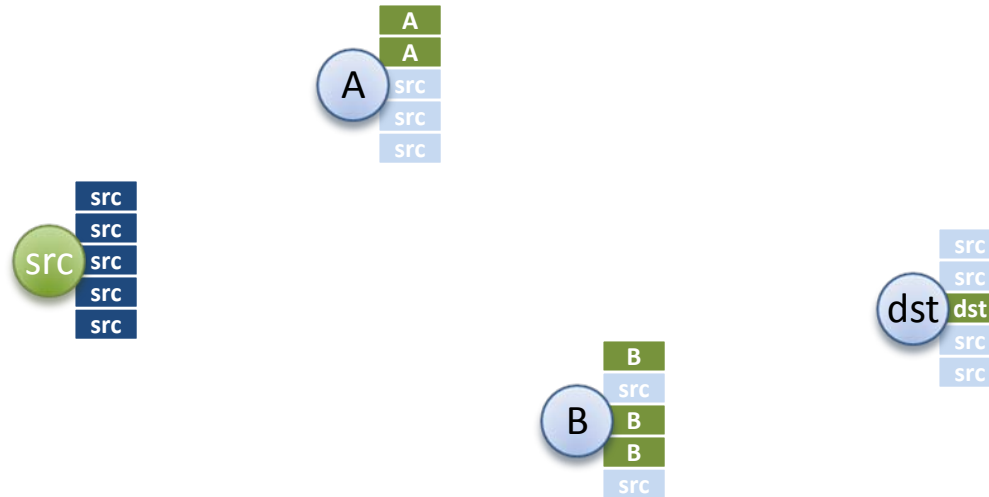
# Funktionsweise von ExOR

Beispiel



1. Knoten SRC möchte an den Knoten DST senden
2. Knoten SRC sammelt alle Pakete in einem „Batch“, erstellt eine „Forwarder-Liste“ und sendet den „Batch“ via Broadcast
3. Knoten A, B und DST empfangen einen Teil des „Batches“ und aktualisieren ihre „Batch Map“
4. Knoten DST sendet seine „Batch Map“

Quelle:  
Seungyeop Han and Toan Dinh Tran  
Korea Advanced Institute of Science and Technology

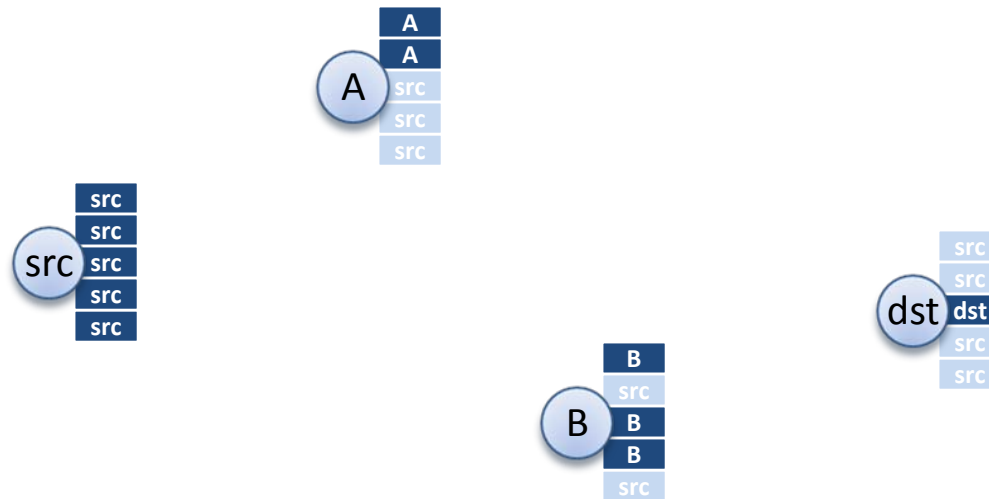


2. Knoten SRC sammelt alle Pakete in einem „Batch“, erstellt eine „Forwarder-Liste“ und sendet den „Batch“ via Broadcast
3. Knoten A, B und DST empfangen einen Teil des „Batches“ und aktualisieren ihre „Batch Map“
4. Knoten DST hat die höchste Priorität und sendet seine „Batch Map“
5. Knoten B empfängt diese und aktualisiert seine „Batch Map“

Quelle:  
Seungyeop Han and Toan Dinh Tran  
Korea Advanced Institute of Science and Technology

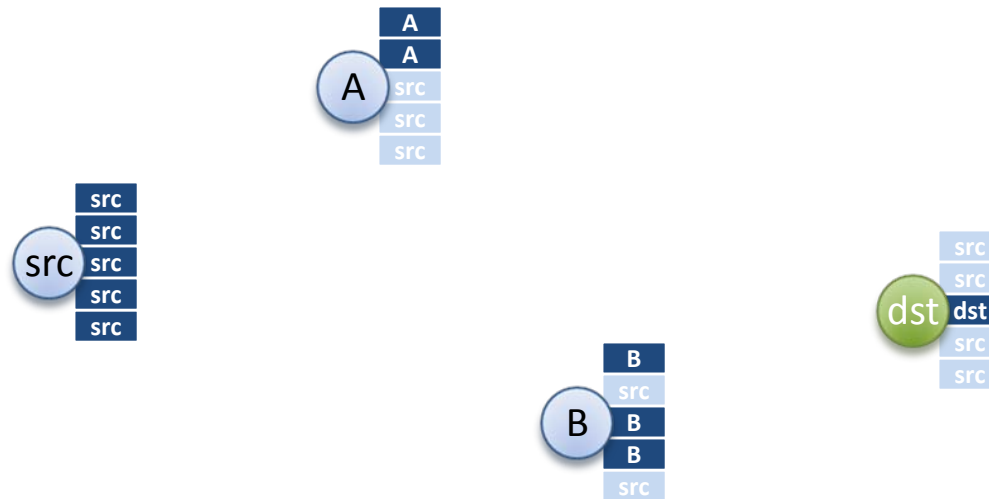
# Funktionsweise von ExOR

Beispiel



2. Knoten SRC sammelt alle Pakete in einem „Batch“, erstellt eine „Forwarder-Liste“ und sendet den „Batch“ via Broadcast
3. Knoten A, B und DST empfangen einen Teil des „Batches“ und aktualisieren ihre „Batch Map“
4. Knoten DST hat die höchste Priorität und sendet seine „Batch Map“
5. Knoten B empfängt diese und aktualisiert seine „Batch Map“

Quelle:  
Seungyeop Han and Toan Dinh Tran  
Korea Advanced Institute of Science and Technology

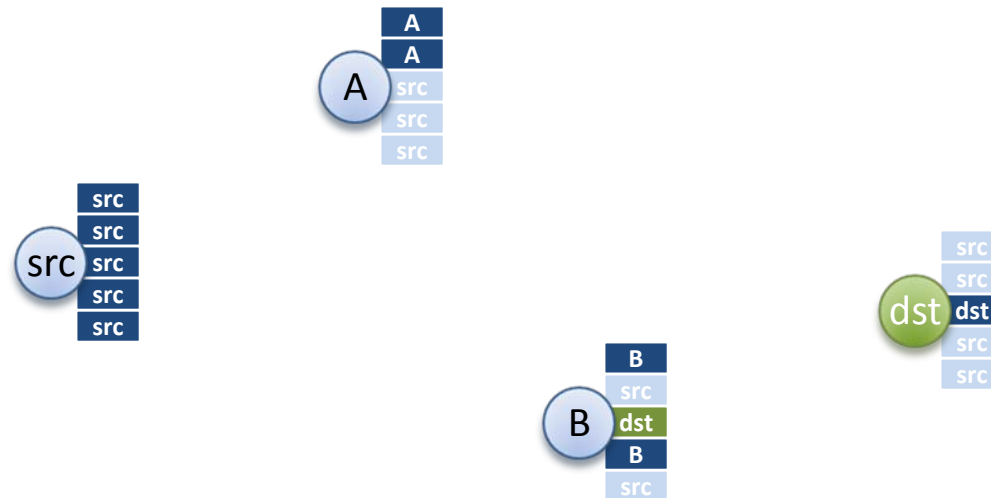


3. Knoten A, B und DST empfangen einen Teil des „Batches“ und aktualisieren ihre „Batch Map“
4. Knoten DST hat die höchste Priorität und sendet seine „Batch Map“.
5. Knoten B empfängt diese und aktualisiert seine „Batch Map“
6. Knoten B sendet als nächstes sein „Fragment“

Quelle:  
Seungyeop Han and Toan Dinh Tran  
Korea Advanced Institute of Science and Technology

# Funktionsweise von ExOR

Beispiel

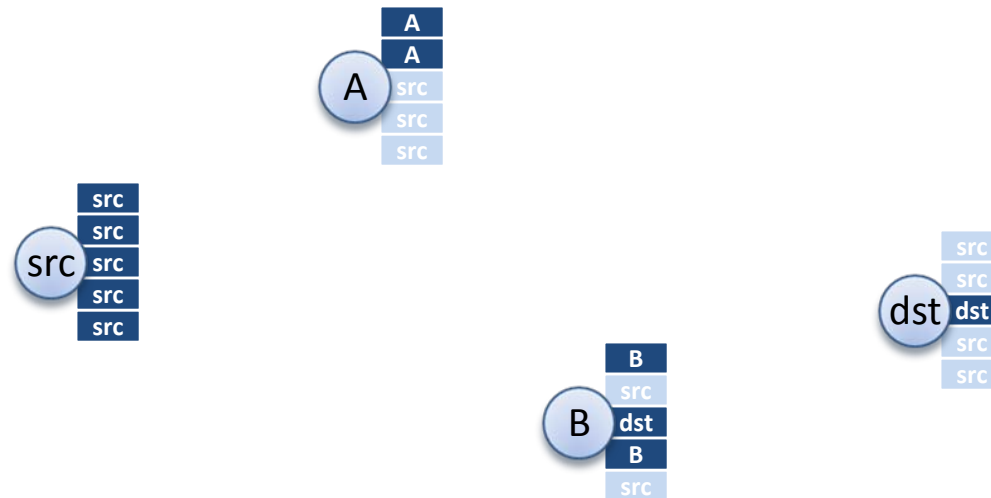


4. Knoten DST hat die höchste Priorität und sendet seine „Batch Map“.
5. Knoten B empfängt diese und aktualisiert seine „Batch Map“
6. Knoten B sendet als nächstes sein „Fragment“
7. Knoten DST und SRC empfangen diese Pakete. Knoten SRC aktualisiert seine „Batch Map“

Quelle:  
Seungyeop Han and Toan Dinh Tran  
Korea Advanced Institute of Science and Technology

# Funktionsweise von ExOR

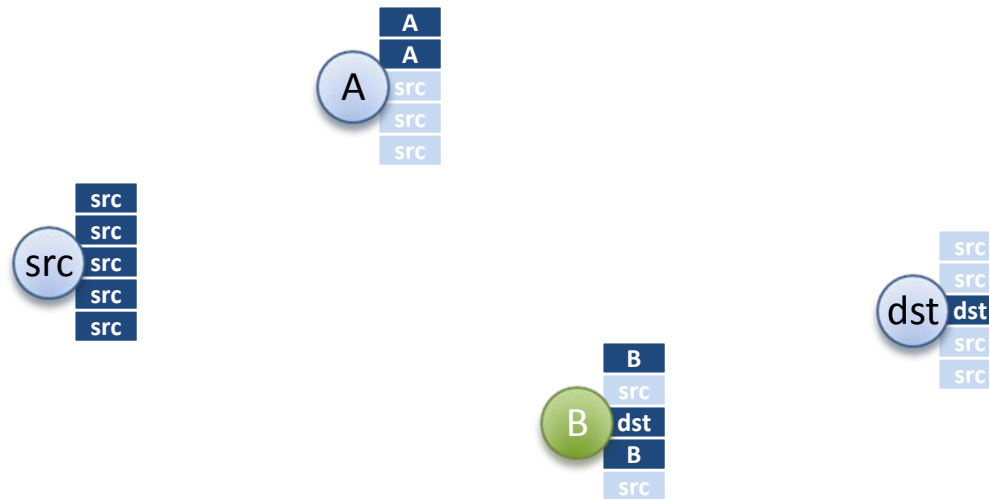
Beispiel



4. Knoten DST hat die höchste Priorität und sendet seine „Batch Map“
5. Knoten B empfängt diese und aktualisiert seine „Batch Map“
6. Knoten B sendet als nächstes sein „Fragment“
7. Knoten DST und SRC empfangen diese Pakete. Knoten SRC aktualisiert seine „Batch Map“

Quelle:  
Seungyeop Han and Toan Dinh Tran  
Korea Advanced Institute of Science and Technology



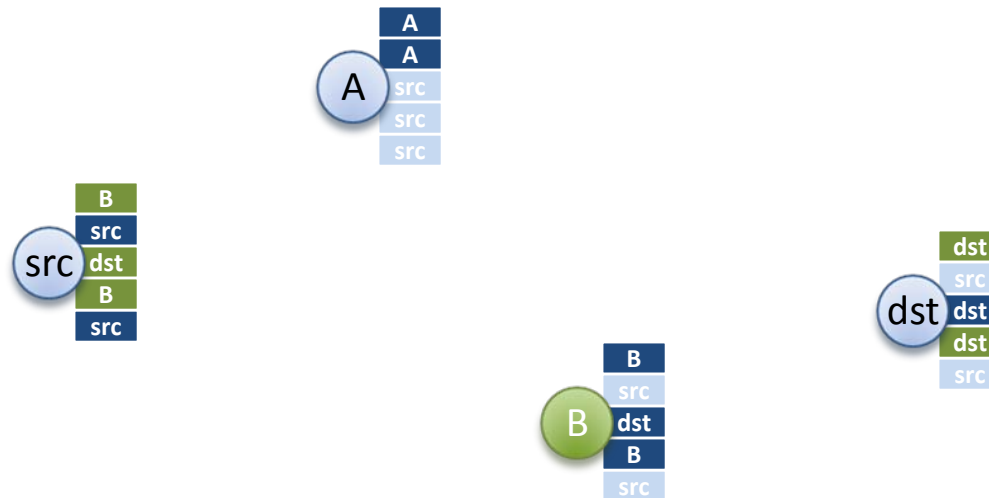


5. Knoten B empfängt diese und aktualisiert seine „Batch Map“
6. Knoten B sendet als nächstes sein „Fragment“
7. Knoten DST und SRC empfangen diese Pakete. Knoten SRC aktualisiert seine „Batch Map“
8. Der „Forwarding Timer“ von Knoten A läuft ab, und Knoten A sendet sein „Fragment“

Quelle:  
Seungyeop Han and Toan Dinh Tran  
Korea Advanced Institute of Science and Technology

# Funktionsweise von ExOR

Beispiel

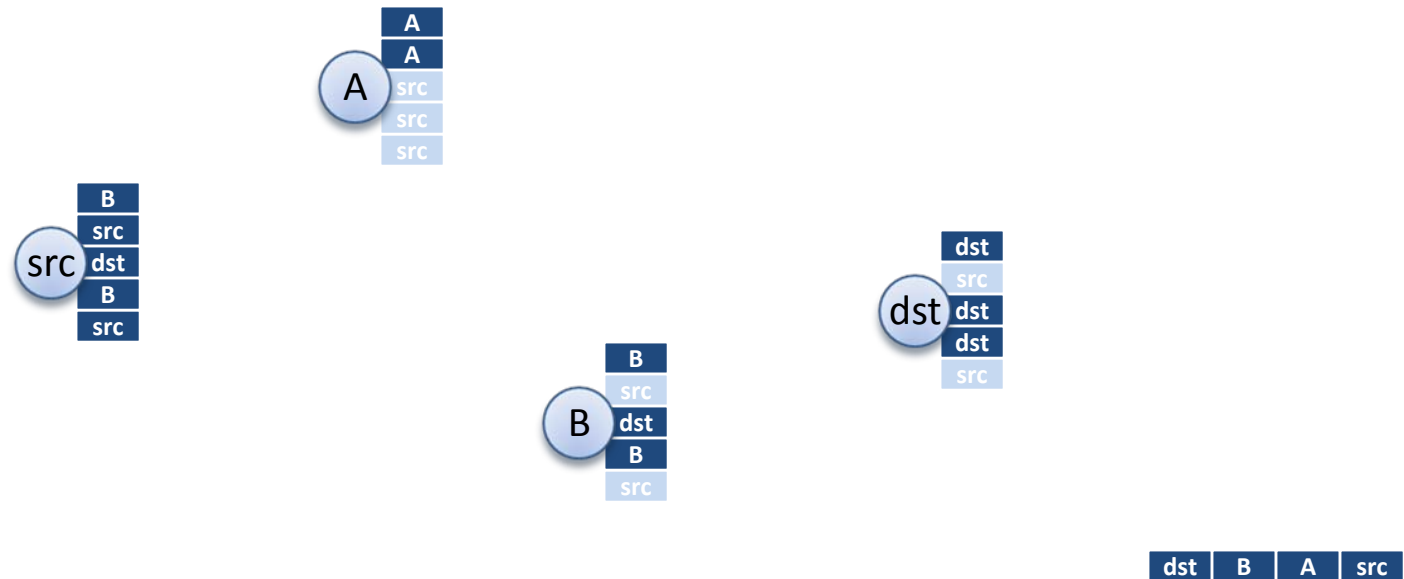


6. Knoten B sendet als nächstes sein „Fragment“
7. Knoten DST und SRC empfangen diese Pakete. Knoten SRC aktualisiert seine „Batch Map“
8. Der „Forwarding Timer“ von Knoten A läuft ab, und Knoten A sendet sein „Fragment“
9. Knoten SRC, B und DST empfangen diese Pakete

Quelle:  
Seungyeop Han and Toan Dinh Tran  
Korea Advanced Institute of Science and Technology

# Funktionsweise von ExOR

Beispiel

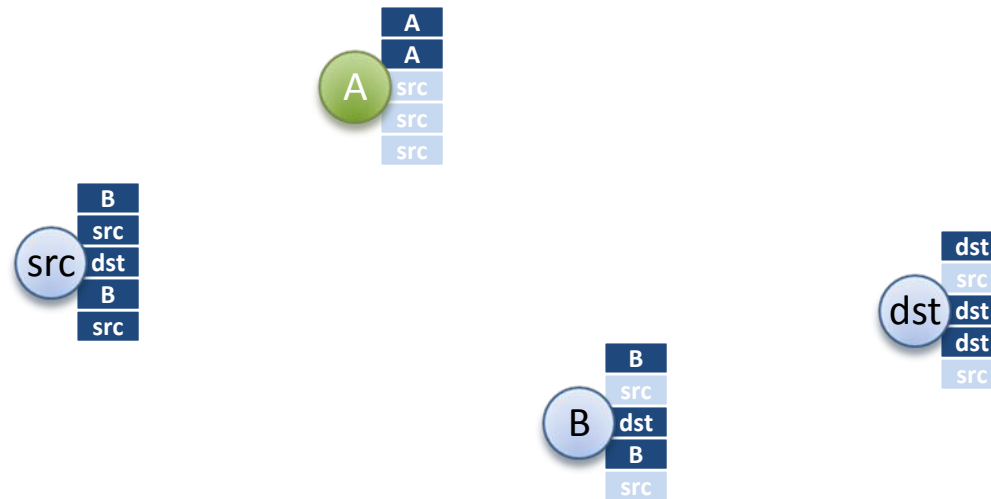


6. Knoten B sendet als nächstes sein „Fragment“
7. Knoten DST und SRC empfangen diese Pakete. Knoten SRC aktualisiert seine „Batch Map“
8. Der „Forwarding Timer“ von Knoten A läuft ab, und Knoten A sendet sein „Fragment“
9. Knoten SRC, B und DST empfangen diese Pakete

Quelle:  
Seungyeop Han and Toan Dinh Tran  
Korea Advanced Institute of Science and Technology

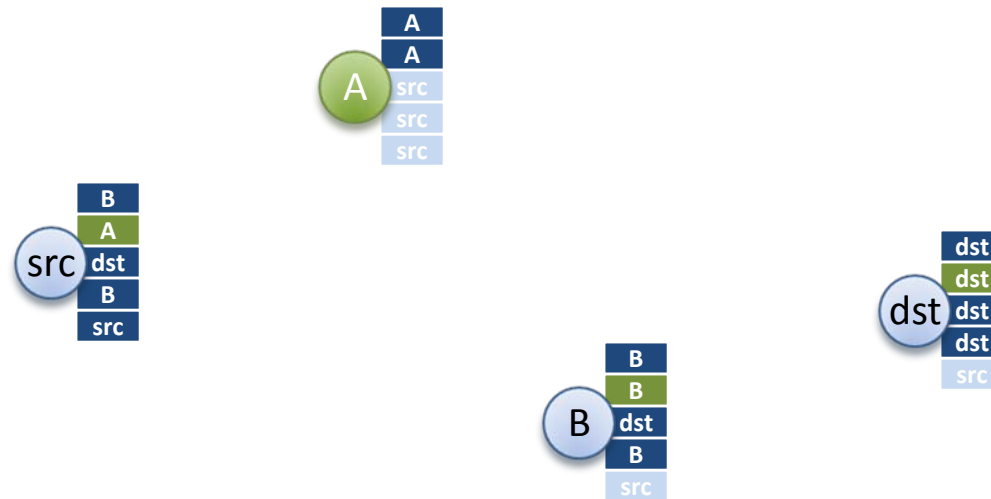
# Funktionsweise von ExOR

Beispiel



7. Knoten DST und SRC empfangen diese Pakete. Knoten SRC aktualisiert seine „Batch Map“
8. Der „Forwarding Timer“ von Knoten A läuft ab, und Knoten A sendet sein „Fragment“
9. Knoten SRC, B und DST empfangen diese Pakete. Knoten SRC aktualisiert seine „Batch Map“

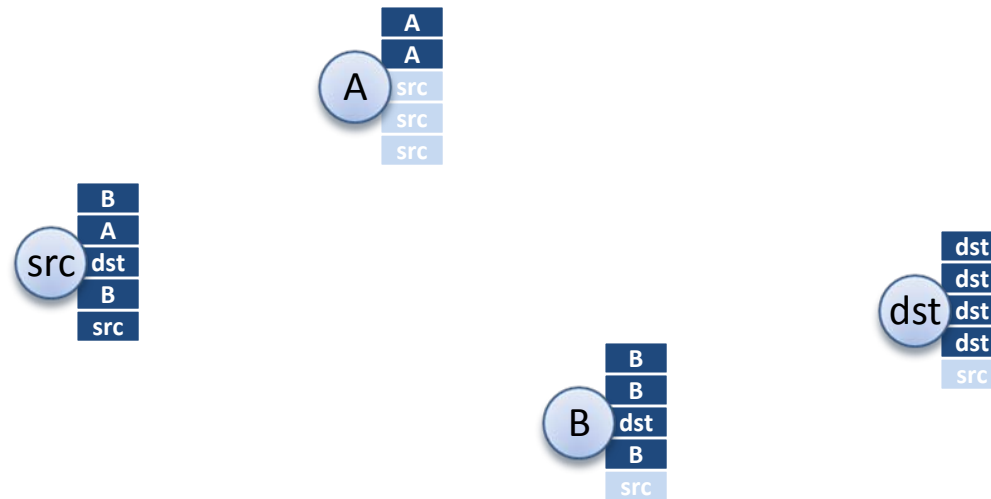
Quelle:  
Seungyeop Han and Toan Dinh Tran  
Korea Advanced Institute of Science and Technology



8. Der „Forwarding Timer“ von Knoten A läuft ab, und Knoten A sendet sein „Fragment“
9. Knoten SRC, B und DST empfangen diese Pakete. Knoten SRC aktualisiert seine „Batch Map“
10. Knoten SRC hat bereits 90% des „Batches“ gesendet. Das letzte Paket sendet Knoten SRC mit traditionellen Protokollen

Quelle:

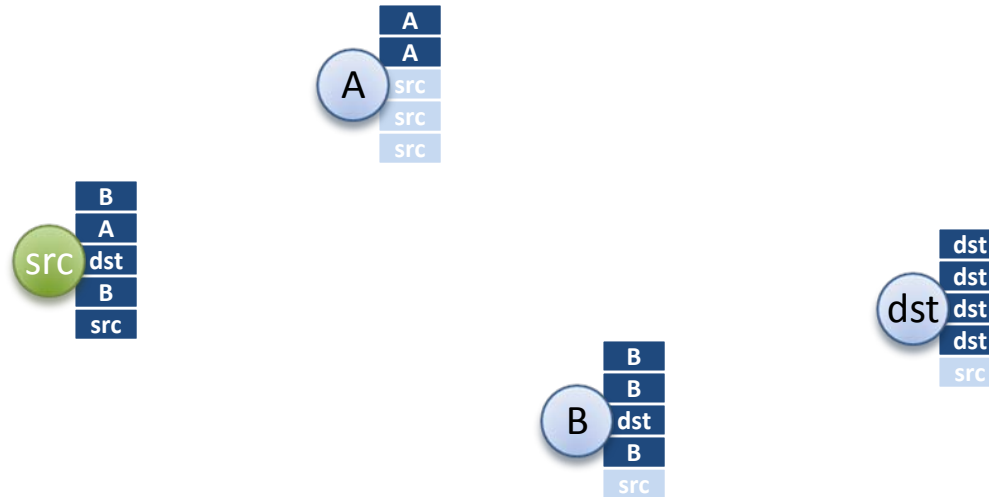
Seungyeop Han and Toan Dinh Tran  
Korea Advanced Institute of Science and Technology



8. Der „Forwarding Timer“ von Knoten A läuft ab, und Knoten A sendet sein „Fragment“
9. Knoten SRC, B und DST empfangen diese Pakete. Knoten SRC aktualisiert seine „Batch Map“
10. Knoten SRC hat bereits 90% des „Batches“ gesendet. Das letzte Paket sendet Knoten SRC mit traditionellen Protokollen

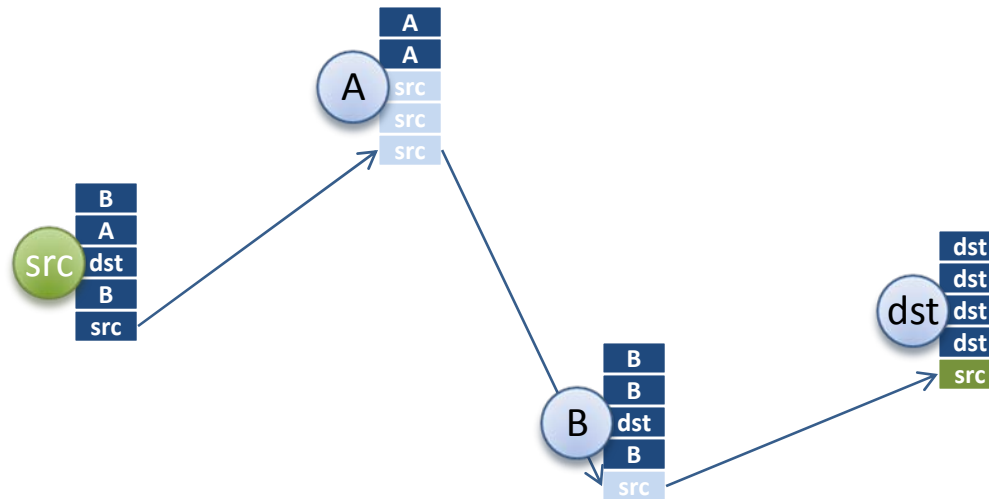
Quelle:

Seungyeop Han and Toan Dinh Tran  
Korea Advanced Institute of Science and Technology



9. Knoten SRC, B und DST empfangen diese Pakete. Knoten SRC aktualisiert seine „Batch Map“
10. Knoten SRC hat bereits 90% des „Batches“ gesendet. Das letzte Paket sendet Knoten SRC mit traditionellen Protokollen
11. Knoten DSC hat alle Pakete empfangen

Quelle:  
Seungyeop Han and Toan Dinh Tran  
Korea Advanced Institute of Science and Technology

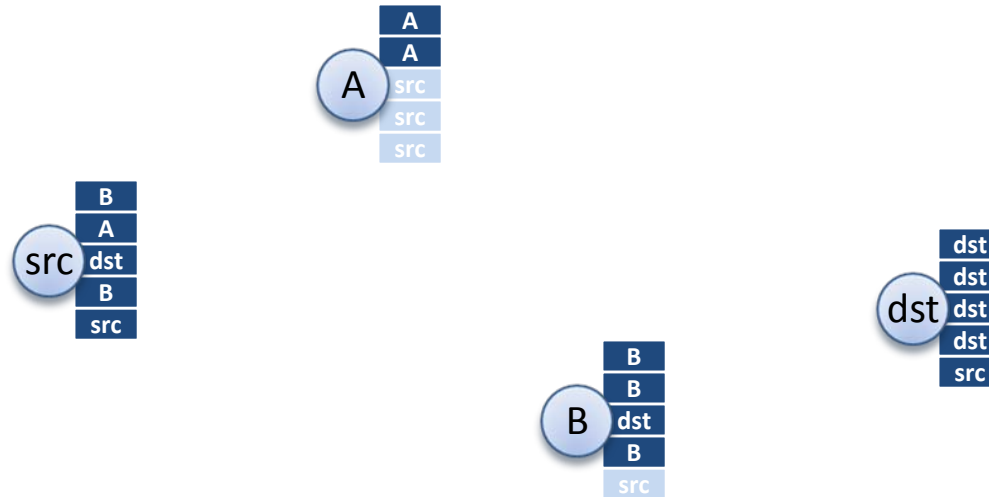


9. Knoten SRC, B und DST empfangen diese Pakete. Knoten SRC aktualisiert seine „Batch Map“
10. Knoten SRC hat bereits 90% des „Batches“ gesendet. Das letzte Paket sendet Knoten SRC mit traditionellen Protokollen
11. Knoten DSC hat alle Pakete empfangen



# Funktionsweise von ExOR

Beispiel



10. Knoten SRC hat bereits 90% des „Batches“ gesendet. Das letzte Paket sendet Knoten SRC mit traditionellen Protokollen

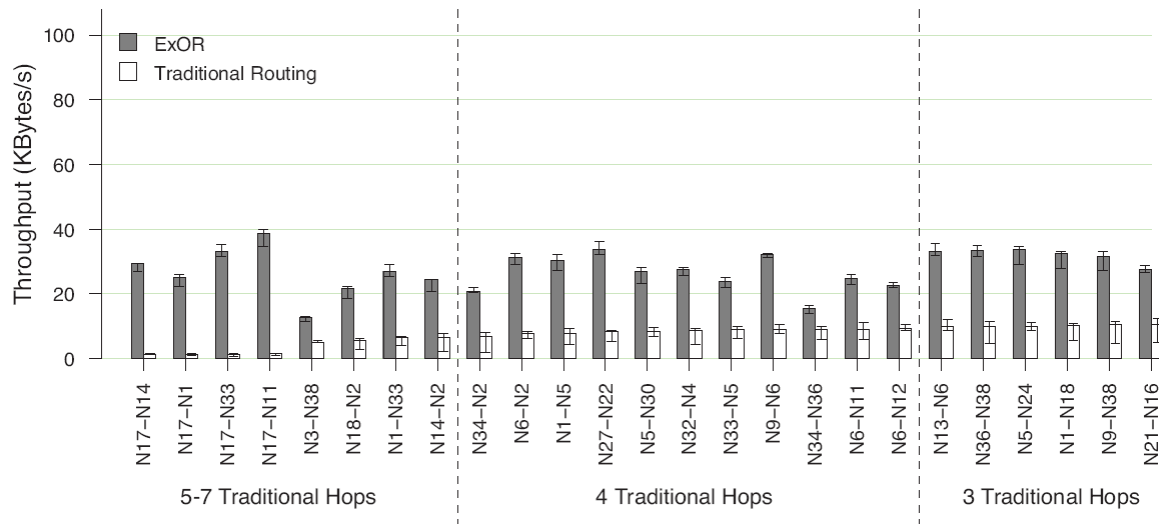
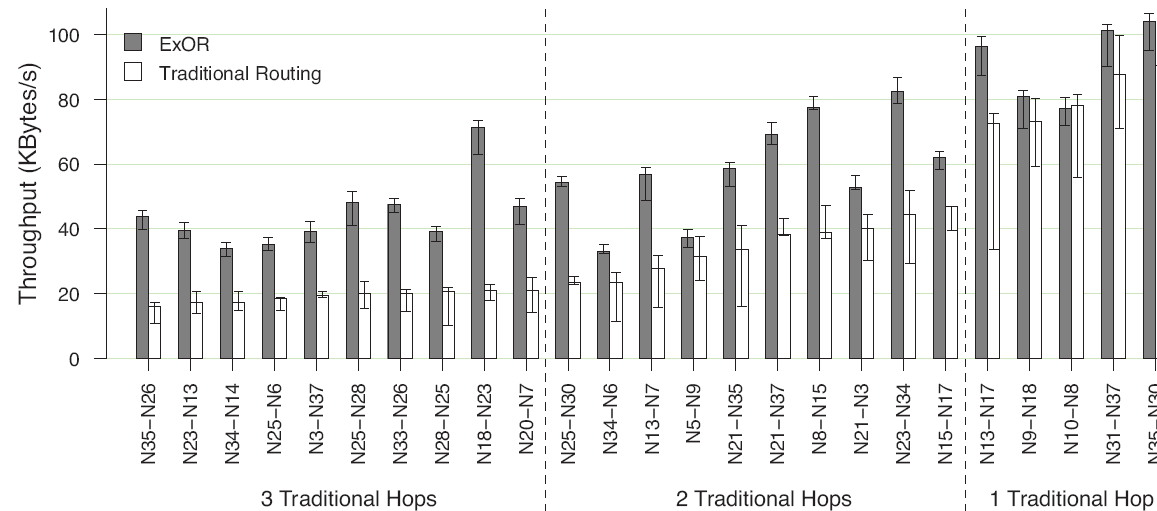
11. Knoten DSC hat alle Pakete empfangen

Quelle:  
Seungyeop Han and Toan Dinh Tran  
Korea Advanced Institute of Science and Technology

ExOR: Extreme Opportunistic Multi-Hop Routing for Wireless Networks

# Messengergebnisse

# Messergebnisse



## ExOR: Extreme Opportunistic Multi-Hop Routing for Wireless Networks

### Fazit

# Fazit

- Mit ExOR lässt sich der Durchsatz in statischen drahtlosen Netzwerken steigern
- In dynamischen Netzwerken ist ExOR jedoch noch den traditionellen Protokollen mit hoher Aktualisierungs-Rate der Routingtabelle unterlegen
- Eine weitere Steigerung der Leistungsfähigkeit von ExOR ist durch einen gemischten Ansatz von ExOR und der Verwendung von mehreren Kanälen auf einem „Transceiver“ möglich
- In der Zukunft werden opportunistische Protokolle wie ExOR immer wichtiger werden und die traditionellen Protokolle ersetzen

ExOR: Extreme Opportunistic Multi-Hop Routing for Wireless Networks

**Fragen?**

- [1] S. Biswas and R. Morris. *ExOR: Opportunistic Multi-Hop Routing for Wireless Networks*. SIGCOMM'05, August 21-26, 2005
- [3] D. De Couto, D. Aguayo, J. Bicket and R. Morris. *A High-Throughput Metric for Multi-Hop Wireless Routing*. MobiCom'03, September 14-19, 2003
- [5] A. Zubow, M. Kurth and J. Redlich. *Multi-Channel Opportunistic Routing in Multi-Hop Wireless Networks*. Humboldt Universität Berlin

