Staukontrolle durch Active Queue Management

Teil 2

Thomas Fischer

Betreuer: Martin Metzker
05/12.07.2014

Gliederung

- Einführung und Motivation
- Staukontrolle in Netzen
- Definition und Anwendung von AQM
- Drei Beispiele für AQM Algorithmen
  - RED
  - BLUE
  - AVQ
- Vergleich der vorgestellten Algorithmen
  - BLUE vs. RED
  - AVQ vs. RED
- Zusammenfassung

Gliederung

- Einführung und Motivation
- Staukontrolle in Netzen
- Definition und Anwendung von AQM
- Drei Beispiele für AQM Algorithmen
  - RED
  - BLUE
  - AVQ
- Vergleich der vorgestellten Algorithmen
  - BLUE vs. RED
  - AVQ vs. RED
- Zusammenfassung

RED

Random Early Detection, Floyd und Van Jacobson 1993

RED

Random Early Detection, Floyd und Van Jacobson 1993

Prinzip:

Ankommende Pakete werden mit bestimmter Wahrscheinlichkeit markiert, die sich proportional zum Anteil der Übertragungsrate verhält, welche diese Verbindung belegt.

RED

Random Early Detection, Floyd und Van Jacobson 1993

Prinzip:

Ankommende Pakete werden mit bestimmter Wahrscheinlichkeit markiert, die sich proportional zum Anteil der Übertragungsrate verhält, welche diese Verbindung belegt.

„Markieren“ kann dabei Fallenlassen des Pakets oder setzen des ECN-Bits sein

RED

Messgröße: durchschnittliche Queuelänge Q_{avg}:

RED

Messgröße: durchschnittliche Queuelänge Q_{avg}:

$$Q_{avg} = (1 - w_q) Q_{avg} + w_q \cdot q$$

, mit Queuelänge q und Gewicht der Queue w_q

RED

Messgröße: durchschnittliche Queuelänge Q_{avg}:

$$Q_{avg} = (1 - w_q) Q_{avg} + w_q \cdot q$$

, mit Queuelänge q und Gewicht der Queue w_q

Vergleichsparameter Q_{min} und Q_{max}:

RED

Messgröße: durchschnittliche Queuelänge Q_{avg}:

$$Q_{avg} = (1 - w_q) Q_{avg} + w_q \cdot q$$

, mit Queuelänge q und Gewicht der Queue w_q

Vergleichsparameter Q_{min} und Q_{max}:

- $Q_{min} > Q_{avg}$: keine Aktion

RED

Messgröße: durchschnittliche Queuelänge Q_{avg}:

$$Q_{avg} = (1 - w_q) Q_{avg} + w_q \cdot q$$

, mit Queuelänge q und Gewicht der Queue w_q

Vergleichsparameter Q_{min} und Q_{max}:

- $Q_{min} > Q_{avg}$: keine Aktion
- $Q_{min} < Q_{avg} < Q_{max}$: markieren mit Wahrscheinlickeit p_a

RED

Messgröße: durchschnittliche Queuelänge Q_{avg}:

$$Q_{avg} = (1 - w_q) Q_{avg} + w_q \cdot q$$

, mit Queuelänge q und Gewicht der Queue w_q

Vergleichsparameter Q_{min} und Q_{max}:

- $Q_{min} > Q_{avg}$: keine Aktion
- $Q_{min} < Q_{avg} < Q_{max}$: markieren mit Wahrscheinlickeit p_a
- $Q_{avg} > Q_{max}$: immer markieren

RED

Markierungswahrscheinlichkeit p_b:

RED

Markierungswahrscheinlichkeit p_b:

$$p_b = max_b \cdot \frac{Q_{avg} - Q_{min}}{Q_{max} - Q_{min}}$$, mit max_b, dem Maximum für p_b

RED

Markierungswahrscheinlichkeit p_b:

$$p_b = max_b \cdot \frac{Q_{avg} - Q_{min}}{Q_{max} - Q_{min}}$$, mit max_b, dem Maximum für p_b

finale Markierungswahrscheinlichkeit p_a:

RED

Markierungswahrscheinlichkeit p_b:

$$p_b = max_b \cdot \frac{Q_{avg} - Q_{min}}{Q_{max} - Q_{min}}$$, mit max_b, dem Maximum für p_b

finale Markierungswahrscheinlichkeit p_a:

$$p_a = \frac{p_b}{1 - z \cdot p_b}$$, mit Zähler z

RED

RED kann auch Bytelänge (Anzahl an Bytes eines Pakets) anstatt Queuelänge in Paketen nutzen. Dafür Modifikation von p_b zu

RED

RED kann auch Bytelänge (Anzahl an Bytes eines Pakets) anstatt Queuelänge in Paketen nutzen. Dafür Modifikation von p_b zu

$$p_b = p_b \cdot \frac{Paketbytes}{maximale \quad Paketbytes}$$

RED

Algorithmus:

RED

Algorithmus:

for jedes ankommende Paket **do**

Berechne Q_{avg};

if $Q_{min} < Q_{avg} < Q_{max}$ **then**

Berechne p_a;

Markiere ankommendes Paket mit Wahrscheinlichkeit p_a;

else if $Q_{max} < Q_{avg}$ **then**

Markiere ankommendes Paket

end

BLUE

1999, Feng et.al., University of Michigan mit IBM

BLUE

1999, Feng et.al., University of Michigan mit IBM

entwickelt, um Schwachstellen von RED zu verbessern:

BLUE

1999, Feng et.al., University of Michigan mit IBM

entwickelt, um Schwachstellen von RED zu verbessern:

- RED benötigt viele Parameter, welche konfiguriert werden müssen

BLUE

1999, Feng et.al., University of Michigan mit IBM

entwickelt, um Schwachstellen von RED zu verbessern:

- RED benötigt viele Parameter, welche konfiguriert werden müssen
- RED funktioniert nur gut, wenn richtig konfiguriert und ausreichend Pufferplatz

BLUE

1999, Feng et.al., University of Michigan mit IBM

entwickelt, um Schwachstellen von RED zu verbessern:

- RED benötigt viele Parameter, welche konfiguriert werden müssen
- RED funktioniert nur gut, wenn richtig konfiguriert und ausreichend Pufferplatz

➡ BLUE als neues Verfahren

BLUE

Kennt nur eine globale Markierungswahrscheinlichkeit p_m

BLUE

Kennt nur eine globale Markierungswahrscheinlichkeit p_m

Nutzt Paketverlust und Verbindungsauslastung zur Berechnung von p_m

BLUE

Kennt nur eine globale Markierungswahrscheinlichkeit p_m

Nutzt Paketverlust und Verbindungsauslastung zur Berechnung von p_m

Kann Pakete fallen lassen oder ECN-Bit setzen

BLUE

Ablauf:

BLUE

Ablauf:

- Jedes ankommende Paket wird mit Wahrscheinlichkeit p_m markiert

BLUE

Ablauf:

- Jedes ankommende Paket wird mit Wahrscheinlichkeit p_m markiert
- p_m ändert sich auf Basis verloren gegangener Pakete bzw. ungenutzter Verbindungen:

BLUE

Ablauf:

- Jedes ankommende Paket wird mit Wahrscheinlichkeit p_m markiert
- p_m ändert sich auf Basis verloren gegangener Pakete bzw. ungenutzter Verbindungen:
  - Router erfährt, dass Paket verloren: $p_m \rightarrow p_m + d_1$

BLUE

Ablauf:

- Jedes ankommende Paket wird mit Wahrscheinlichkeit p_m markiert
- p_m ändert sich auf Basis verloren gegangener Pakete bzw. ungenutzter Verbindungen:
  - Router erfährt, dass Paket verloren: $p_m \rightarrow p_m + d_1$
  - Router erkennt ungenutzte Verbindung: $p_m \rightarrow p_m - d_2$

BLUE

Ablauf:

- Jedes ankommende Paket wird mit Wahrscheinlichkeit p_m markiert
- p_m ändert sich auf Basis verloren gegangener Pakete bzw. ungenutzter Verbindungen:
  - Router erfährt, dass Paket verloren: $p_m \rightarrow p_m + d_1$
  - Router erkennt ungenutzte Verbindung: $p_m \rightarrow p_m - d_2$
- Zusätzlich *freeze_time*: Zeitintervall, dass zwischen Änderungen an p_m gewartet werden muss, damit Änderungen wirksam werden können

BLUE

Algorithmus:

BLUE

Algorithmus:

for jedes ankommende Paket **do**

if Paketverlust **&&** (*now* – *last_update*) < *freeze_time* **then**

$p_m = p_m + d_1$;

last_update = *now*;

if Verbindung frei **&&** (*now* – *last_update*) < *freeze_time* **then**

$p_m = p_m - d_2$;

last_update = *now*;

end

BLUE

Wahl der Parameter:

BLUE

Wahl der Parameter:

- d_1 (Erhöhung von p_m) sollte deutlich größer als d_2 (Reduzierung von p_m) sein, da auf Staus sehr schnell reagiert werden muss

BLUE

Wahl der Parameter:

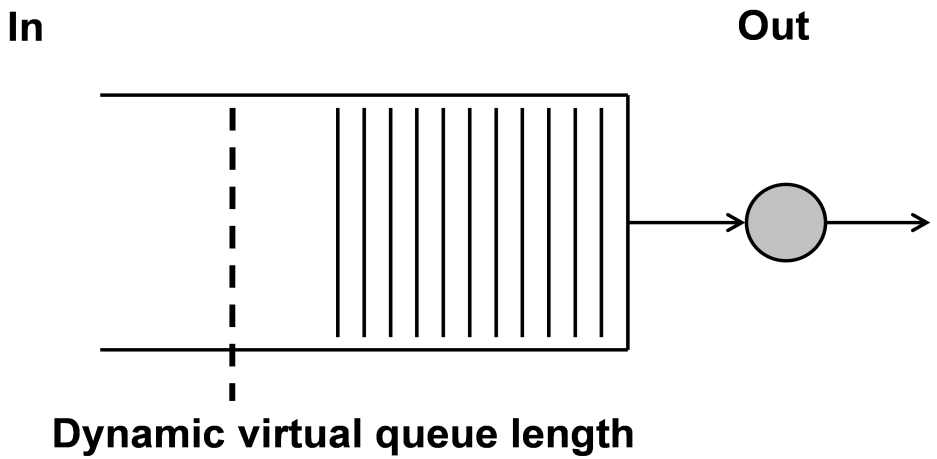
- d_1 (Erhöhung von p_m) sollte deutlich größer als d_2 (Reduzierung von p_m) sein, da auf Staus sehr schnell reagiert werden muss
- *freeze_time* wurde von Autoren in Versuchen konstant gehalten; sollte aber zufällig gewählt werden, um globale Synchronisation zu vermeiden

AVQ

Adaptive Virtual Queue, Kunniyur und Srikant, 2001

AVQ

Adaptive Virtual Queue, Kunniyur und Srikant, 2001



Prinzip: nutze virtuelle Queue, deren Größe dynamisch angepasst wird, um bessere Leistungsgrenzen zu erhalten

AVQ

Keine Markierungswahrscheinlichkeiten; Entscheidung über Markieren wird anhand der Kapazität der virtuellen Queue getroffen

AVQ

Keine Markierungswahrscheinlichkeiten; Entscheidung über Markieren wird anhand der Kapazität der virtuellen Queue getroffen

Unterstützt Fallenlassen von Paketen und das Setzen des ECN-Bits

AVQ

Virtuelle Queue mit Kapazität $C_v \leq C$, C ist Kapazität der tatsächlichen Verbindung, zu Beginn $C_v = C$

AVQ

Virtuelle Queue mit Kapazität $C_v \leq C$, C ist Kapazität der tatsächlichen Verbindung, zu Beginn $C_v = C$

Überprüfe für ankommende Pakete, ob virtuelle Queue Paket aufnehmen könnte:

AVQ

Virtuelle Queue mit Kapazität $C_v \leq C$, C ist Kapazität der tatsächlichen Verbindung, zu Beginn $C_v = C$

Überprüfe für ankommende Pakete, ob virtuelle Queue Paket aufnehmen könnte:

- Falls ja: Paket in tatsächliche Queue einreihen

AVQ

Virtuelle Queue mit Kapazität $C_v \leq C$, C ist Kapazität der tatsächlichen Verbindung, zu Beginn $C_v = C$

Überprüfe für ankommende Pakete, ob virtuelle Queue Paket aufnehmen könnte:

- Falls ja: Paket in tatsächliche Queue einreihen
- Falls nein: Paket markieren

AVQ

Kapazität der virtuellen Queue wird bei jedem ankommenden Paket angepasst gemäß

$$\dot{C}_v = \alpha\left(\gamma \cdot C - \lambda\right)$$

AVQ

Kapazität der virtuellen Queue wird bei jedem ankommenden Paket angepasst gemäß

$$\dot{C}_v = \alpha(\gamma \cdot C - \lambda)$$

wobei

- α ein Glättungsparameter

AVQ

Kapazität der virtuellen Queue wird bei jedem ankommenden Paket angepasst gemäß

$$\dot{C}_v = \alpha(\gamma \cdot C - \lambda)$$

wobei

- α ein Glättungsparameter
- γ die angestrebte Auslastung der Verbindung

AVQ

Kapazität der virtuellen Queue wird bei jedem ankommenden Paket angepasst gemäß

$$\dot{C}_v = \alpha(\gamma \cdot C - \lambda)$$

wobei

- α ein Glättungsparameter
- γ die angestrebte Auslastung der Verbindung
- λ die Ankunftsrate der Verbindung

AVQ

Kapazität der virtuellen Queue wird bei jedem ankommenden Paket angepasst gemäß

$$\dot{C}_v = \alpha(\gamma \cdot C - \lambda)$$

wobei

- α ein Glättungsparameter
- γ die angestrebte Auslastung der Verbindung
- λ die Ankunftsrate der Verbindung

Da keine Pakete in virtuelle Queue eingereiht werden ist lediglich die Kapazität von Interesse

AVQ

Algorithmus:

AVQ

Algorithmus:

for jedes ankommende Paket **do**

if $VQ = max(VQ - C_v(t - s), 0)$ **then**

Paket markieren;

else

$VQ = VQ + b$;

$C_v = max(min(C_v + \alpha \cdot \gamma \cdot C(t - s), C) - \alpha \cdot b, 0)$;

$s = t$;

end

AVQ

Algorithmus:

for jedes ankommende Paket **do**

if $VQ = max(VQ - C_v(t - s), 0)$ **then**

Paket markieren;

else

$VQ = VQ + b$;

$C_v = max(min(C_v + \alpha \cdot \gamma \cdot C(t - s), C) - \alpha \cdot b, 0)$;

$s = t$;

end

B: Puffergröße, s: Ankunftszeit des letzten Pakets,

t: aktuelle Zeit, b: Paketgröße, VQ: Bytes in virt. Queue

Gliederung

- Einführung und Motivation
- Staukontrolle in Netzen
- Definition und Anwendung von AQM
- Drei Beispiele für AQM Algorithmen
  - RED
  - BLUE
  - AVQ
- Vergleich der vorgestellten Algorithmen
  - BLUE vs. RED
  - AVQ vs. RED
- Zusammenfassung

BLUE vs. RED

Von den Autoren von BLUE

BLUE vs. RED

Von den Autoren von BLUE

Aufbau:

- ECN aktiviert

BLUE vs. RED

Von den Autoren von BLUE

Aufbau:

- ECN aktiviert
- Messen der Auslastung und Paketverluste nach 100s Übertragung + 100s Warten

BLUE vs. RED

Von den Autoren von BLUE

Aufbau:

- ECN aktiviert
- Messen der Auslastung und Paketverluste nach 100s Übertragung + 100s Warten
- RED: Q_{min} = 20%, Q_{max} = 80%

BLUE vs. RED

Von den Autoren von BLUE

Aufbau:

- ECN aktiviert
- Messen der Auslastung und Paketverluste nach 100s Übertragung + 100s Warten
- RED: Q_{min} = 20%, Q_{max} = 80%
- BLUE: $d_1 = 10 \cdot d_2$

BLUE vs. RED

Von den Autoren von BLUE

Aufbau:

- ECN aktiviert
- Messen der Auslastung und Paketverluste nach 100s Übertragung + 100s Warten
- RED: Q_{min} = 20%, Q_{max} = 80%
- BLUE: $d_1 = 10 \cdot d_2$
- Variation der Buffergröße von 100 KB bis 1000 KB, entspricht Verzögerung von 17,8 ms bis 178 ms

BLUE vs. RED

1000 Quellen:

BLUE vs. RED

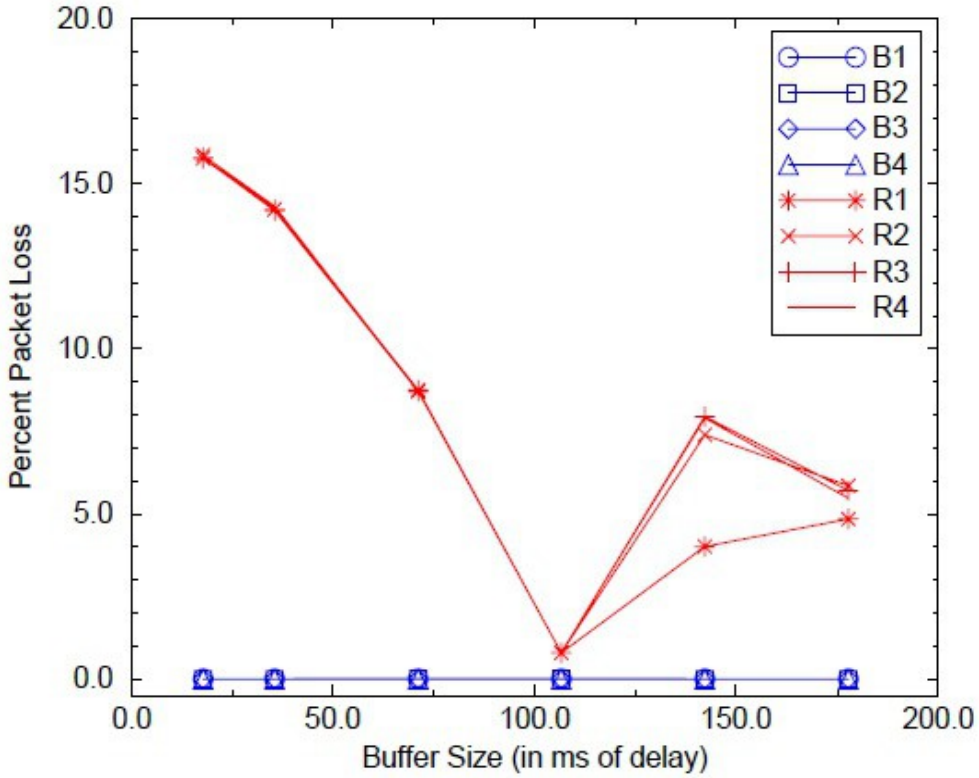
1000 Quellen:

Auslastung bei beiden 100%

BLUE vs. RED

1000 Quellen:

Auslastung bei beiden 100%

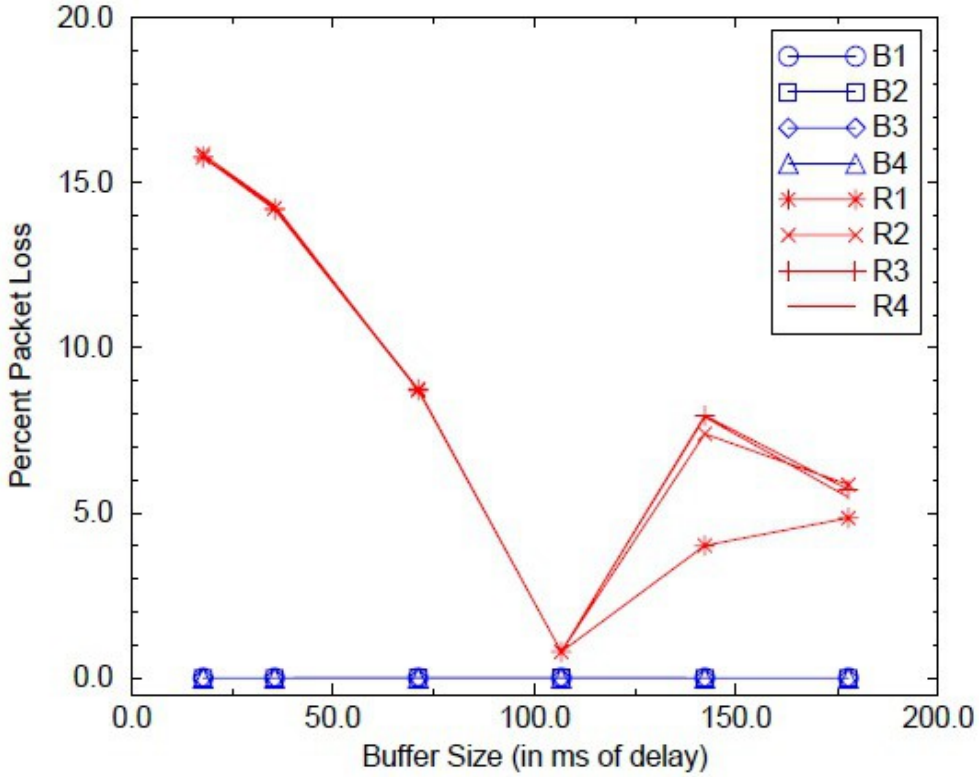


BLUE vs. RED

1000 Quellen:

4000 Quellen:

Auslastung bei beiden 100%



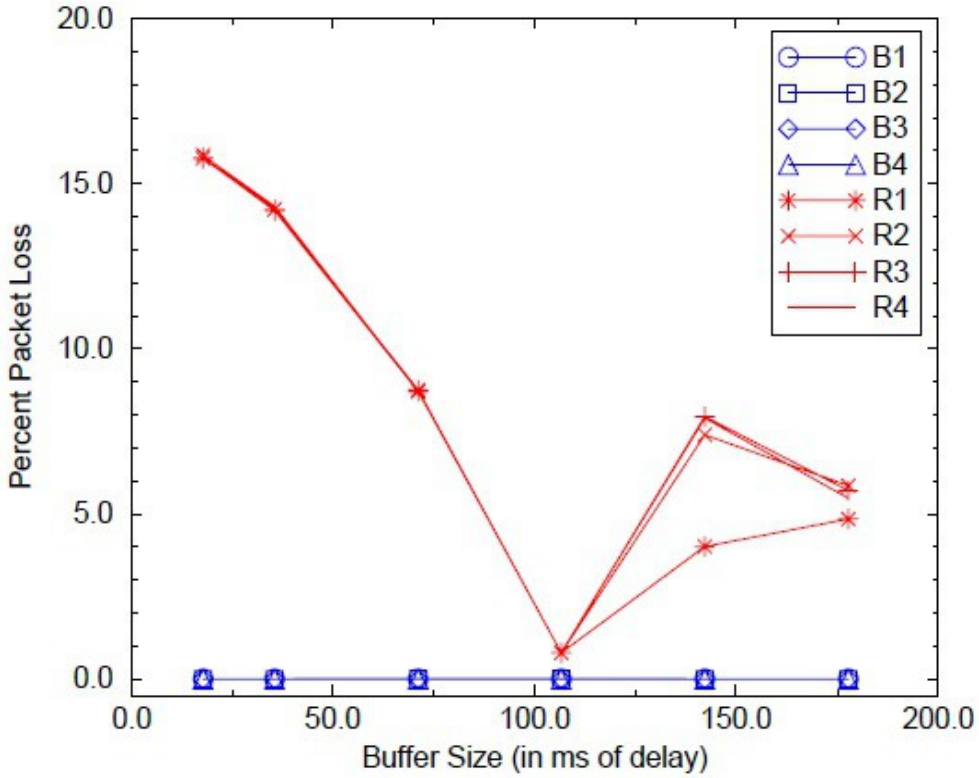
BLUE vs. RED

1000 Quellen:

Auslastung bei beiden 100%

4000 Quellen:

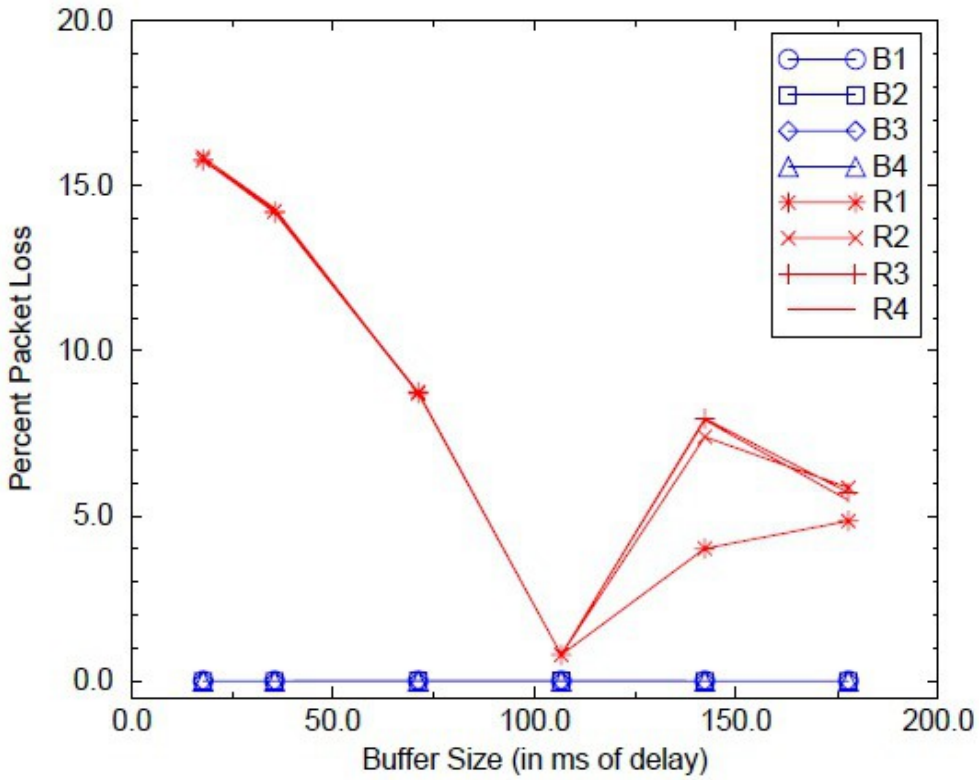
Auslastung bei beiden 100%



BLUE vs. RED

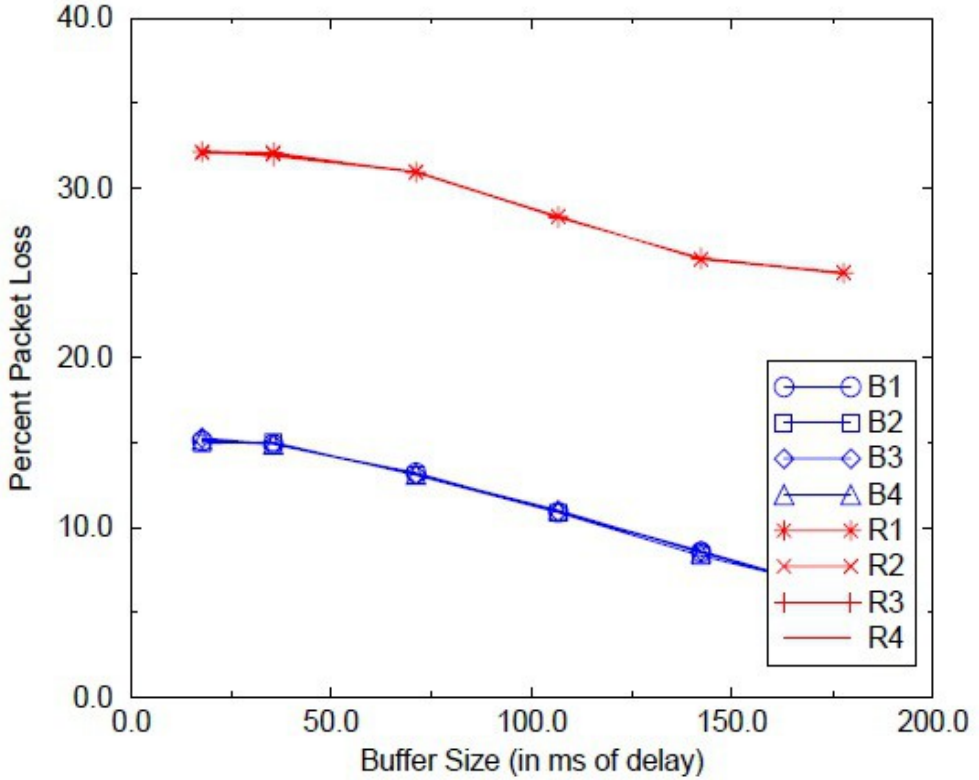
1000 Quellen:

Auslastung bei beiden 100%



4000 Quellen:

Auslastung bei beiden 100%



AVQ vs. RED

Von den Autoren von AVQ

AVQ vs. RED

Von den Autoren von AVQ

Aufbau:

- Versuch A: ECN aktiviert, B: ECN deaktiviert

AVQ vs. RED

Von den Autoren von AVQ

Aufbau:

- Versuch A: ECN aktiviert, B: ECN deaktiviert
- Messen der Auslastung und Paketverluste nach 30 – 60 ms

AVQ vs. RED

Von den Autoren von AVQ

Aufbau:

- Versuch A: ECN aktiviert, B: ECN deaktiviert
- Messen der Auslastung und Paketverluste nach 30 – 60 ms
- Flaschenhals Queuelänge: 100 Pakete bzw. 1000 bytes

AVQ vs. RED

Von den Autoren von AVQ

Aufbau:

- Versuch A: ECN aktiviert, B: ECN deaktiviert
- Messen der Auslastung und Paketverluste nach 30 – 60 ms
- Flaschenhals Queuelänge: 100 Pakete bzw. 1000 bytes
- RED: Q_{min} = 37%, Q_{max} = 75%

AVQ vs. RED

Von den Autoren von AVQ

Aufbau:

- Versuch A: ECN aktiviert, B: ECN deaktiviert
- Messen der Auslastung und Paketverluste nach 30 – 60 ms
- Flaschenhals Queuelänge: 100 Pakete bzw. 1000 bytes
- RED: Q_{min} = 37%, Q_{max} = 75%
- AVQ: A: γ = 98% B: γ = 100%; α = 0,15

AVQ vs. RED

Von den Autoren von AVQ

Aufbau:

- Versuch A: ECN aktiviert, B: ECN deaktiviert
- Messen der Auslastung und Paketverluste nach 30 – 60 ms
- Flaschenhals Queuelänge: 100 Pakete bzw. 1000 bytes
- RED: Q_{min} = 37%, Q_{max} = 75%
- AVQ: A: γ = 98% B: γ = 100%; α = 0,15
- A: Variation der FTP Verbindungen von 20 bis 180;
  B: 40 FTP Verbindungen, steigende Anzahl an short-flows

AVQ vs. RED

A (FTP Variation):

AVQ vs. RED

A (FTP Variation):

Auslastung RED: 90% - 85%

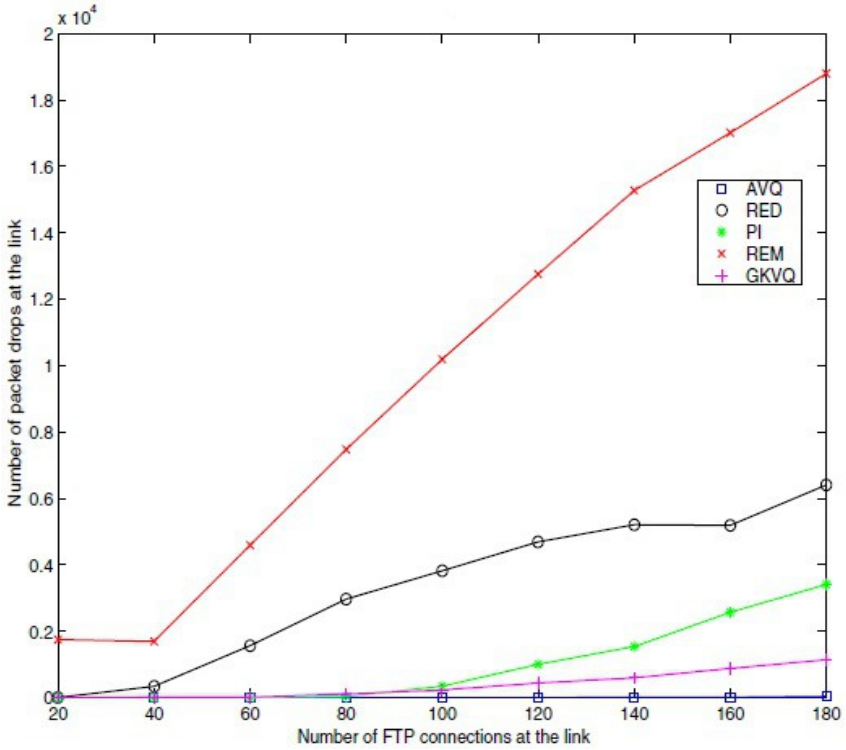
Auslastung AVQ: 95% - 98%

AVQ vs. RED

A (FTP Variation):

Auslastung RED: 90% - 85%

Auslastung AVQ: 95% - 98%

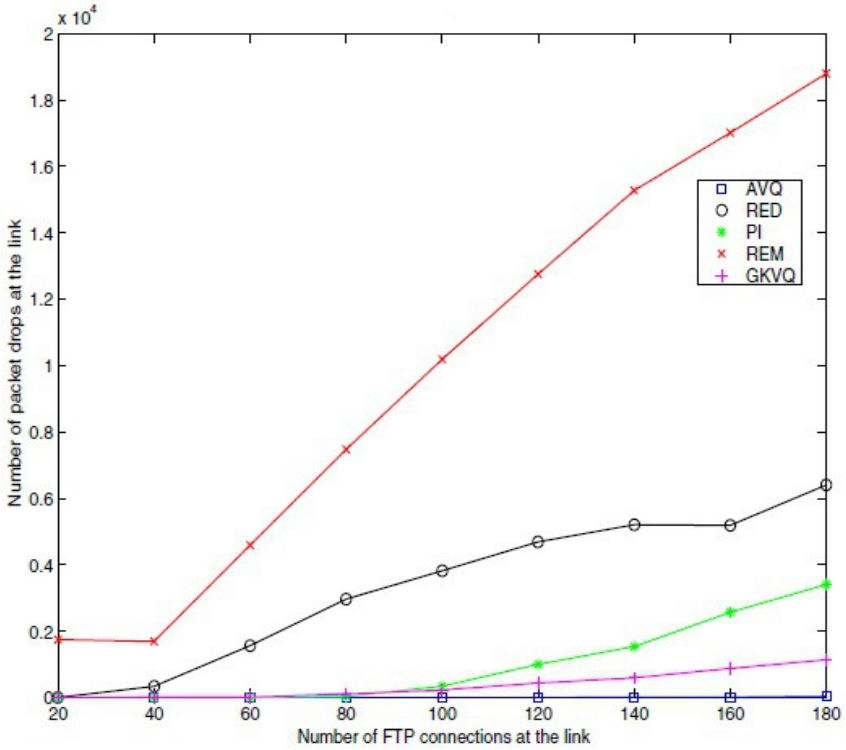


AVQ vs. RED

A (FTP Variation):

Auslastung RED: 90% - 85%

Auslastung AVQ: 95% - 98%



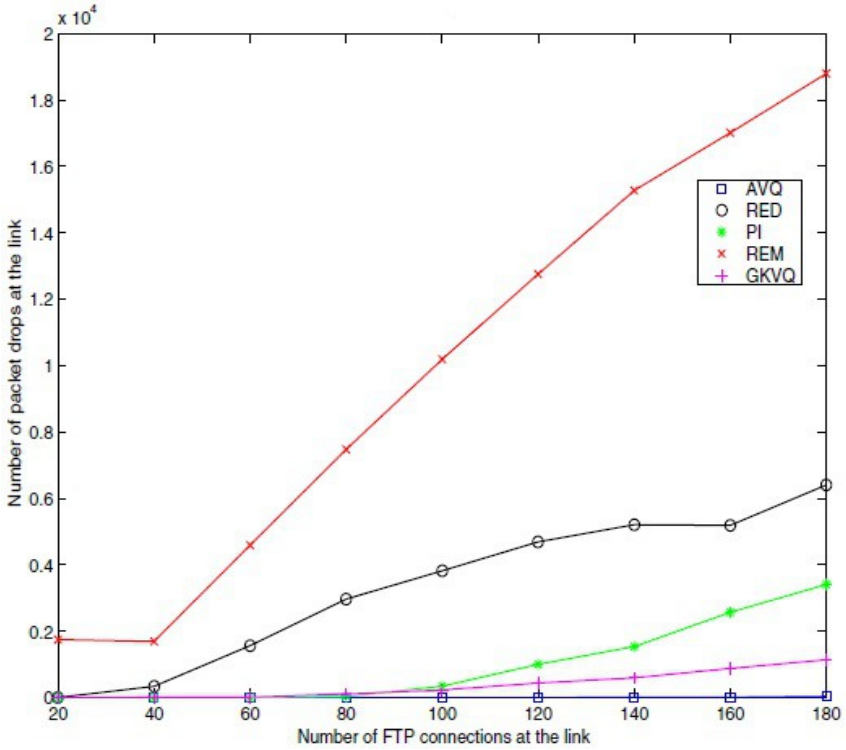
B (short flows Variation):

AVQ vs. RED

A (FTP Variation):

Auslastung RED: 90% - 85%

Auslastung AVQ: 95% - 98%



B (short flows Variation):

Auslastung RED: 94% - 99 %

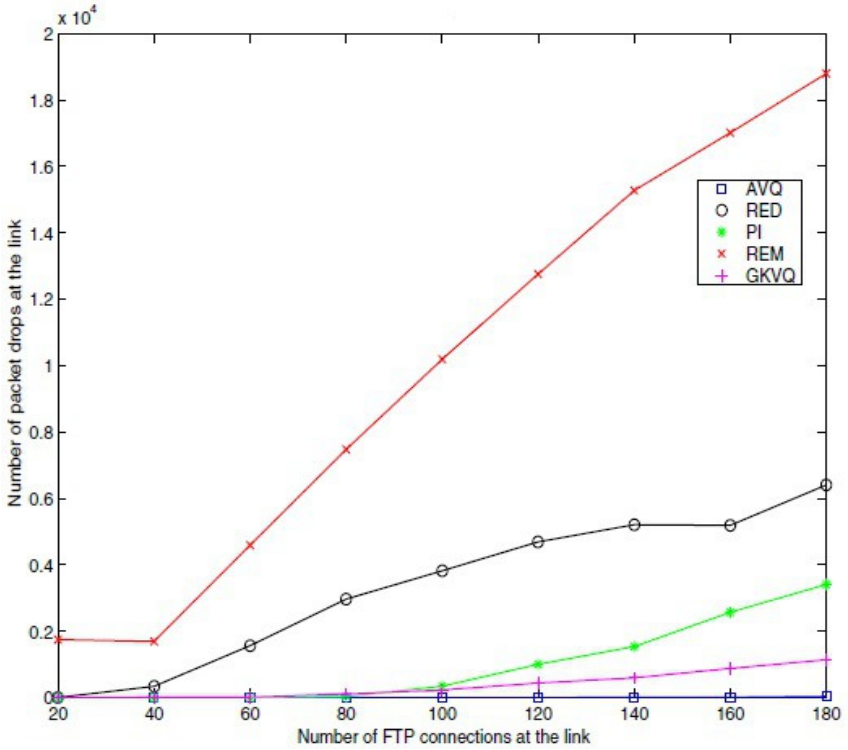
Auslastung AVQ: 100%

AVQ vs. RED

A (FTP Variation):

Auslastung RED: 90% - 85%

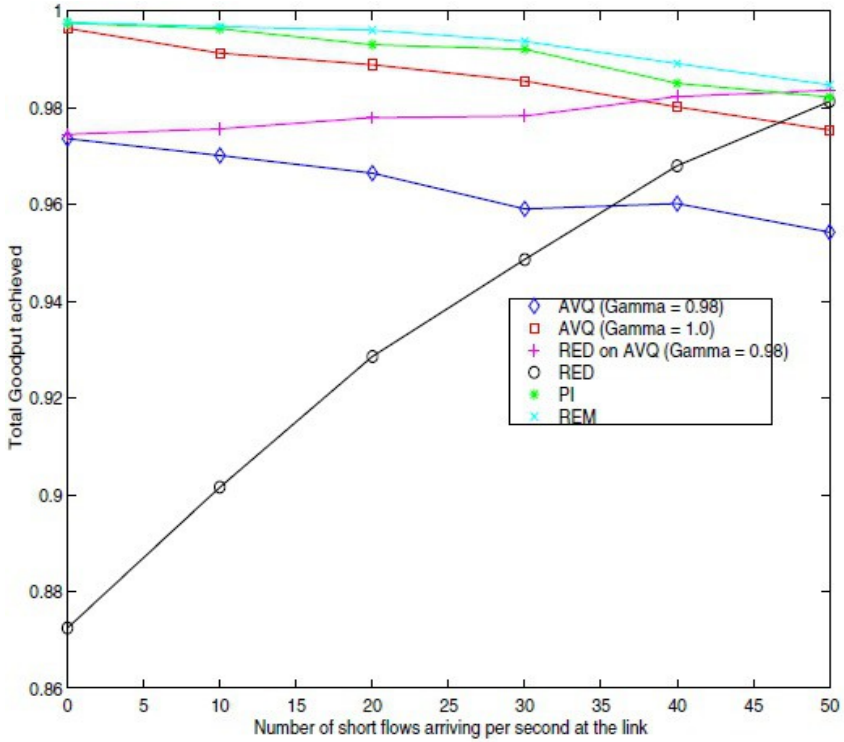
Auslastung AVQ: 95% - 98%



B (short flows Variation):

Auslastung RED: 94% - 99 %

Auslastung AVQ: 100%



Gliederung

- Einführung und Motivation
- Staukontrolle in Netzen
- Definition und Anwendung von AQM
- Drei Beispiele für AQM Algorithmen
  - RED
  - BLUE
  - AVQ
- Vergleich der vorgestellten Algorithmen
  - BLUE vs. RED
  - AVQ vs. RED
- Zusammenfassung

Zusammenfassung

AQM Algorithmen notwendig

Zusammenfassung

AQM Algorithmen notwendig

Es gibt zahlreiche, weitere Algorithmen

Zusammenfassung

AQM Algorithmen notwendig

Es gibt zahlreiche, weitere Algorithmen

Wichtig für die Zukunft: Einführung von AQM im Internet auf allen Routern (RED bereits 1998 in RFC 2309 empfohlen, noch vor ECN, welches 1999 in RFC 2481 erwähnt)

Zusammenfassung

AQM Algorithmen notwendig

Es gibt zahlreiche, weitere Algorithmen

Wichtig für die Zukunft: Einführung von AQM im Internet auf allen Routern (RED bereits 1998 in RFC 2309 empfohlen, noch vor ECN, welches 1999 in RFC 2481 erwähnt)

Alternative Verfahren zur Staukontrolle: z.B. Zugangssteuerung oder Routing unter Verkehrsberücksichtigung

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!

Fragen?