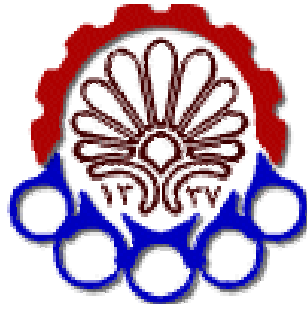


بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



دانشگاه صنعتی امیرکبیر
(پلی تکنیک تهران)

دانشکده مهندسی کامپیوتر و فناوری اطلاعات

پایان نامه کارشناسی

گرایش سخت افزار

تشخیص زود هنگام تصادفی ازدحام سازگار با نوع کاربری شبکه سوئیچینگ بسته‌ای به کمک یادگیری Q فازی

کورش مشگی

دکتر سعید شیری قیداری

تصویب نامه

تقدیم

به پدرم که پشتوانه ای سرسخت بود،

به مادرم که نستوه بود و همراه،

به خواهرم که طراوت، ارمغان حضورش بود،

به پدر بزرگ و مادر بزرگم که بهترین سرمشق بودند،

و به او که راه و رسم زیستن را به من ارزانی داشت ...

سپاسگزاری

با سپاس از جناب آقای دکتر سعید شیری که با حمایت بی دریغ، پشتیبانی علمی، راهنمایی‌های گرانقدر و دلسوزی پدرانۀ خود در مسیر انجام این پژوهش مرا همراهی کردند و راه و رسم موفقیت را به من آموختند.

و با تشکر از استاد گرانقدر، دکتر عبادزاده، که مرور و داوری این پایان نامه را به عهده گرفته، مرا از پیشنهادات خود بهره مند نمودند.

و با قدردانی از مهندس سعید معصوم زاده و مهندس مانیا عبدی که بدون کمکهای ایشان انجام این پروژه میسر نبود.

چکیده

این پایان نامه الگوریتمی برای تشخیص زود هنگام تصادفی ازدحام سازگار با نوع کاربری شبکه سوئیچینگ بسته‌ای به کمک یادگیری Q فازی ارائه می‌دهد. مسیریاب ازدحام را به کمک محاسبه میانگین طول صف در مراحل اولیه شناسایی می‌کند. هنگامی که طول میانگین صف از آستانه‌ای عبور کند، گذرگاه بسته ورودی را با احتمالی خاص علامتگذاری می‌کند که این احتمال تابعی از طول میانگین صف است و آستانه مذکور و سایر پارامترهای الگوریتم توسط یادگیری ماشین تنظیم می‌شود. یادگیری Q فازی به عنوان یادگیری ماشین مورد استفاده در این روش، با بهره‌گیری از پارامترهایی از جمله معیارهای کیفیت خدمات شبکه، مدلی از نوع کاربری شبکه تهیه می‌کند که این مدل مبنای تنظیم بهینه پارامترها و پیش‌بینی ازدحامهای احتمالی و رد کردن هرچه سریعتر آنها خواهد بود. گذرگاه پیشنهادی طول میانگین صف را پایین نگه می‌دارد و به ترافیکهای رگباری و ازدحامهای زودگذر اجازه ورود به صف را می‌دهد. این گذرگاه برای همکاری با پروتکل‌های کنترل ازدحام لایه انتقال (مانند TCP) طراحی شده است. گذرگاه $FQL-RED$ ارائه شده، به طور تجربیدی روی مسیریابهای حاضر در شبکه که از RED پشتیبانی می‌کنند قابل پیاده‌سازی است و به کارایی آنها با کمترین هزینه بطور چشمگیری می‌افزاید. در پایان به کمک شبیه‌ساز $OPNet$ کارکرد این الگوریتم در شبکه‌های TCP/IP آزمایش شده، برتری این روش نمایش داده می‌شود.

کلمات کلیدی:

کنترل ازدحام ($Congestion Control$) - تشخیص زود هنگام تصادفی (RED) - یادگیری Q فازی ($Fuzzy Q-Learning$) - شبیه ساز $OPNet$ - الگوریتم RED سازگار شده با کاربری شبکه ($FQL-RED$)

نمایه

[فهرست]

۱. فهرست عناوین
۲. فهرست شکلها

فهرست عناوین:

صفحه	عنوان	زیربخش
	مقدمه	
	مقدمه	
	یادگیری ماشین	
	کنترل هوشمند و سازگارپذیر	
	سلسله مراتب شبکه	
	مدیریت پویای صف	
	تعریف مسئله مورد بررسی	
	مروری بر مطالعات انجام شده در رابطه با کنترل ازدحام هوشمند	
	طرح کلی مباحث مقاله	
	مروری بر یادگیری تقویتی	
	مقدمه	
	اکتشاف در برابر اکتساب	

پاداش تأخیر یافته

روشهای مستقل از مدل برای یادگیری راهبرد بهینه

$TD(\lambda)$

Q

محاسبه راهبرد بهینه با یادگیری مدل

/

تعمیم

محیطهای نیمه قابل مشاهده

یادگیری Q فازی

مقدمه

سیستم استنتاج فازی

FIS

یادگیری Q فازی برای فضای گسسته واکنش

FQL

FQL

FQL

FQL

کنترل ازدحام

مقدمه

اصول کلی در کنترل جریان

سیاستهای پیشگیری از ازدحام

کنترل ازدحام در زیر شبکه‌های دیتاگرام

دور ریختن بار

کنترل ازدحام در TCP

پارامترها و ساز و کارهای مرتبط

مدیریت ترافیک

مروری بر الگوریتمهای کنونی مدیریت پویای صف

بررسی الگوریتم RED

مقدمه

پیشینه کنترل ازدحام تا قبل از RED

اهداف طراحی RED

الگوریتم RED

شبیه سازی

محاسبه متوسط طول صف

$$W_q$$

$$W_q$$

$$Min_{th} \quad Max_{th}$$

محاسبه احتمال علامتگذاری بسته

ارزیابی الگوریتم RED

RED

پیاده سازی و شبیه سازی

مقدمه
طراحی یادگیری Q فازی
Q
Q
ε
$TD(0)$
FQL
FQL
پارامترهای مهم الگوریتم RED
تنظیم پارامترهای الگوریتم RED با یادگیری Q فازی
سناریوی شبیه‌سازی
$OPNet$
آزمایشها
RED
$FQL-RED$
نتایج و جمع بندی
مقدمه
مسئله ها و راه حلها

مقایسه با سایر روشهای موجود

پیشنهاداتی برای ادامه پژوهش

فهرست مراجع

واژگان معادل

واژه نامه

مخفف ها

فهرست شکلها:

صفحه	عنوان	زیربخش
	مدل مرجع TCP/IP	
	سطح نیازمندی برنامه‌های کاربردی به کیفیت خدمات	
	زمینه‌های مورد بررسی	
	شماتیک کلی مسئله	
	جایگاه الگوریتم پیشنهادی در میان الگوریتمهای مدیریت پویای صف	
	مدل استاندارد یادگیری تقویتی	
	چشم انداز فضای حالت یک بعدی که در آن ارزیابی وابسته به تابع هدف است.	
	معماری الگوریتم سنجشگر تطبیقی راه حل ذهنی	
	رویکرد اکتشاف هوشمندانه تر...	
	یادگیری سلسله مراتبی: ساختاری از رفتارهای دروازه‌بندی شده	
	ساختار یک عامل POMDP	
	معماری سیستم استنتاج فازی	
	معماری یادگیری Q فازی	
	فلوچارت FQL برای فضای واکنش گسسته	
	وقتی ترافیک تحویلی به شبکه بیش از اندازه باشد ازدحام بوجود می‌آید و کارایی افت می‌کند.	
	سیاستهایی که بر پدیده ازدحام تأثیر می‌گذارند	
	بسته دعوت به آرامش...	
	تعبیر هیدرولیکی ازدحام	
	مثالی از الگوریتم کنترل ازدحام در اینترنت	
	صفهای ورودی و خروجی هر گره	
	تعامل صفها در شبکه داده	
	بهره وری ایده آل شبکه	
	اثر ازدحام	
	مکانیزمهایی برای کنترل ازدحام	

دسته بندی الگوریتمهای AQM
شبه کد الگوریتم RED
احتمال علامتگذاری P_a در RED
شبه کد الگوریتم ARED
شبه کد الگوریتم BLUE
شبه کد الگوریتم SFB
AQM و TCP به عنوان یک سیستم کنترلی حلقه بسته
شبه کد الگوریتم AVQ
خلاصه ویژگیهای الگوریتمهای AQM
شبه کد الگوریتم RED
شبیه سازی الگوریتم RED
یک شبیه سازی با چهار اتصال FTP با زمانهای شروع نابرابر
شبکه شبیه سازی شده
مقایسه گذرگاههای RED و قطع دنباله
شبکه شبیه سازی شده
avgL به عنوان تابعی از W_q و L
مقایسه دو روش علامتگذاری بسته ها
شبیه سازی گذرگاه RED با ازدحام بالا، ترافیک دوسویه، و اتصالات متعدد FTP و TELNET کوتاه
شبکه ای با تعداد زیادی اتصالات کوتاه
فازی سازی مثلثی یک ورودی نمونه
سناریوی FQL
الگوریتم FQL-RED
چرخه پروژه شبیه سازی
ویرایشگر گرافیکی برای مدلهای شبکه، گره و فرآیند
دامنه های مدل سازی OPNet
پیکر بندی شبکه مورد مطالعه (سناریوی پروانه)

پارامترهای $FQL-RED$
حساسیت الگوریتم RED به پارامترهایش
نمودار انواع ترافیک ورودی بر حسب زمان
حساسیت الگوریتم RED به ترافیک ورودی
حساسیت الگوریتم $FQL-RED$ به پارامترهایش
تأثیر سیگنالهای جزئی تقویت بر کارکرد $FQL-RED$ و مقایسه با RED
نقش نحوه علامتگذاری تصادفی RED در بالا بردن بهره وری خط
محاسبه تأخیر صفبندی در زمان نمونه برداری
تأثیر Min_{th} روی کنترل ازدحام با $FQL-RED$
تأثیر Max_{th} روی کنترل ازدحام با $FQL-RED$
۵ تأثیر Max_p روی کنترل ازدحام با $FQL-RED$
تأثیر W_q روی متوسط طول صف

فصل نخست

[مقدمه]

۱. مقدمه
۲. یادگیری ماشین
۳. کنترل هوشمند و سازگار پذیر
۴. سلسله مراتب شبکه
۵. مدیریت پویای صف
۶. تعریف مسئله مورد بررسی
۷. مروری بر مطالعات انجام شده در رابطه با کنترل ازدحام هوشمند
۸. طرح کلی مباحث مقاله

AI (*ML*)

۱-۲- یادگیری ماشین

» :

«.

- ()
 -
 -
 - ()
 -
 -
 -
- (RL)

۱-۳- کنترل هوشمند و سازگارپذیر^{۱۰}

()

-
- Classification^۳
 - Supervised Learning^۴
 - Learning by Taking Advice^۵
 - Unsupervised Learning^۶
 - Competitive Learning^۷
 - Clustering^۸
 - Reinforcement Learning^۹
 - Intelligent and Adaptive Control^{۱۰}

۱-۴- سلسله مراتب شبکه

TCP/IP

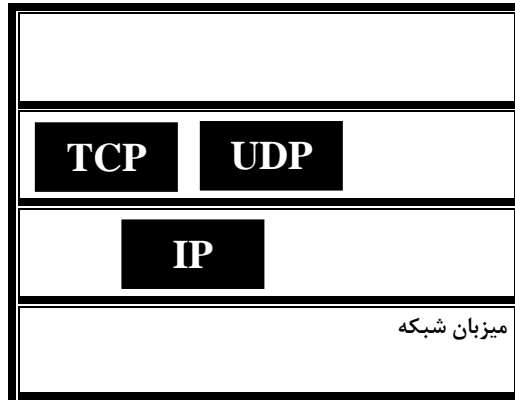
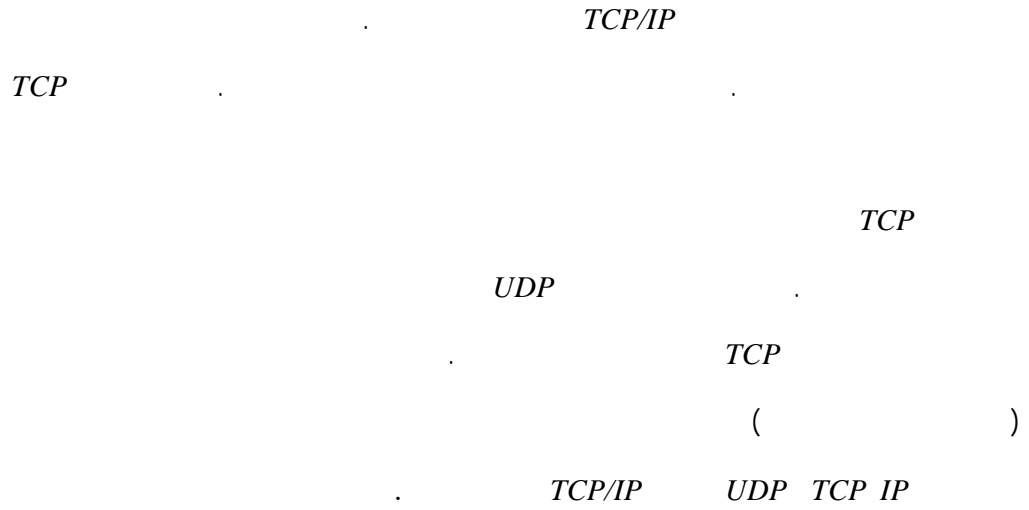
TCP/IP

IP

IP

Real Time ^{۱۱}
Layer ^{۱۲}
Internet protocol ^{۱۳}

(QoS)



شکل ۱-۱ مدل مرجع TCP/IP

۱-۵- مدیریت پویای صف

- ^{۱۴} Bottleneck
- ^{۱۵} Congestion
- ^{۱۶} Quality of Service
- ^{۱۷} Transport Layer
- ^{۱۸} Transmission Control Protocol
- ^{۱۹} Flow Control
- ^{۲۰} User Datagram Protocol

)

TCP/ IP

(

TCP

۱-۶- تعریف مسئله مورد بررسی

۱-۶-۱- ضرورت حل این مسئله



:

...



- :
- :
- :

[]

			پست الکترونیکی
			انتقال فایل
			دسترسی به وب
			ورود به سیستم از راه دور
			دریافت صوت بر حسب تقاضا
			دریافت ویدیو بر حسب تقاضا
			تلفن اینترنتی
			ویدیو کنفرانس

شکل ۱-۲ سطح نیازمندی برنامه‌های کاربردی به کیفیت خدمات

()

()



•

•

•

)

:

.(

)

(

•

•

•

•

•

•

•

•

•

•

•

•



۱-۶-۲- کنترل ازدحام چیست؟

)

(

« »

$$l \quad C_e \quad i \quad x_i$$

$$R \quad C \quad x$$

$$l \quad i \quad r_{ei}$$

$$U(x)$$

x

رابطه ۱-۱ تخصیص نرخ بهینه به طوری که $R.x \leq C$

$$\max_x \sum_i U(x_i)$$

« »

$$P_i$$

[]

l P_i

« »

(« »)

»)

(«

(« »)

Price	۲۹
Lagrange Multipliers	۳۰
Loss	۳۱
Delay	۳۲
Explicit Signals	۳۳
Deployability	۳۴
High Bandwidth-Delay Products	۳۵
Lossy Network	۳۶
Minimum Potential Delay	۳۷
The Box is Black	۳۸
The Box is Grey	۳۹
The Box is Green	۴۰

IP

« »

« »

« »

« »

AQM

AQM

Ping Time

AQM

(*SRED RED*) *AQM*

(*PI BLUE ARED*)

«

»

۱-۶-۳- الگوریتم مدیریت پویای صف مبنا

RED

«

»

IETF

TCP



AQM

RED

RED

TCP

RED

RED

TCP

RED

TCP

CBT

TCP

RED

RED

$W_q \bullet$

• $Max_p \quad Min_{th} \quad Max_{th}$

RED

RED

۱-۶-۴- روش یادگیری ماشین مورد استفاده

()

- ^{۴۱} Supervised Learning
- ^{۴۲} Classification Problems
- ^{۴۳} Unsupervised Learning
- ^{۴۴} Semi-Supervised Learning
- ^{۴۵} Reinforcement Learning
- ^{۴۶} Transduction
- ^{۴۷} Training
- ^{۴۸} Learning To Learn

()

Q $TD(\lambda)$

Q

$$\lambda = 0 \quad TD(\lambda)$$

Q
Q

۱-۶-۵- کاربرد منطق فازی در حل این مسئله

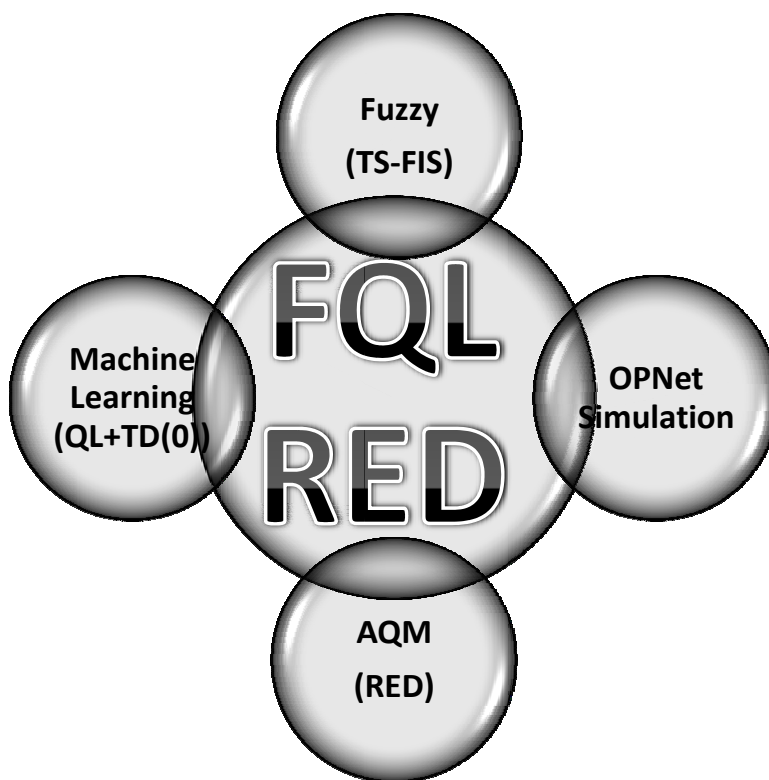
()

If-Then

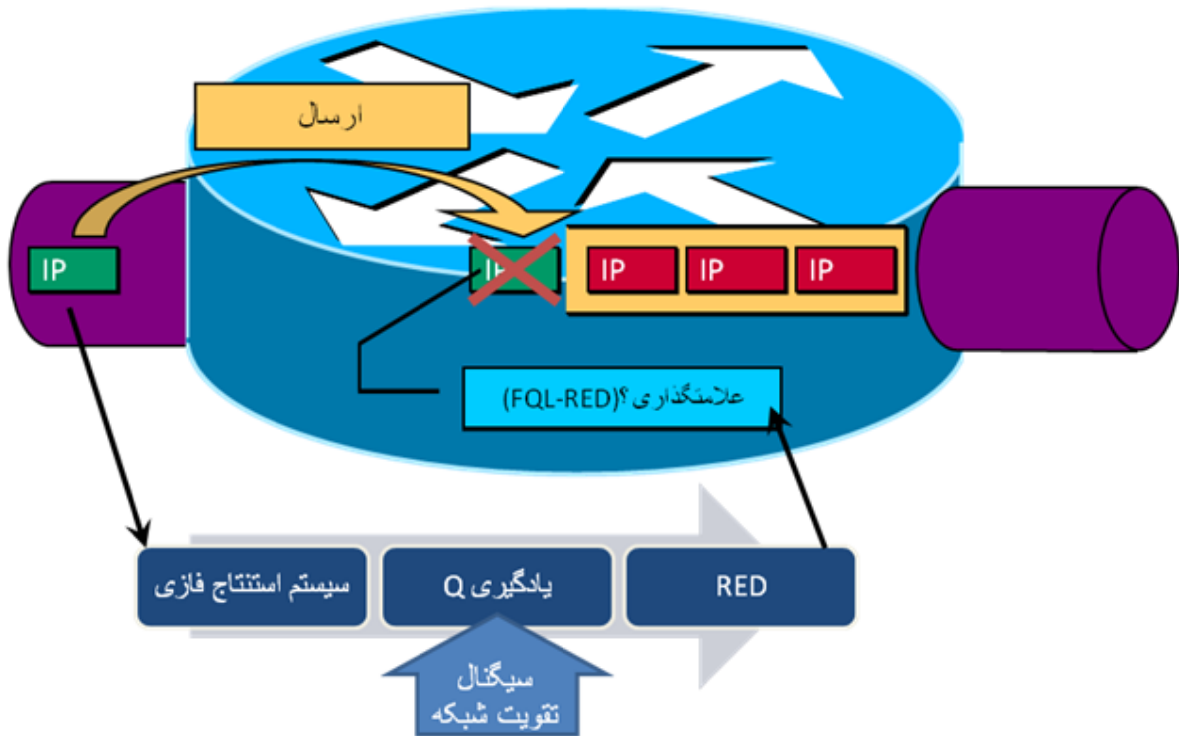
- :
-
-
-

If-Then

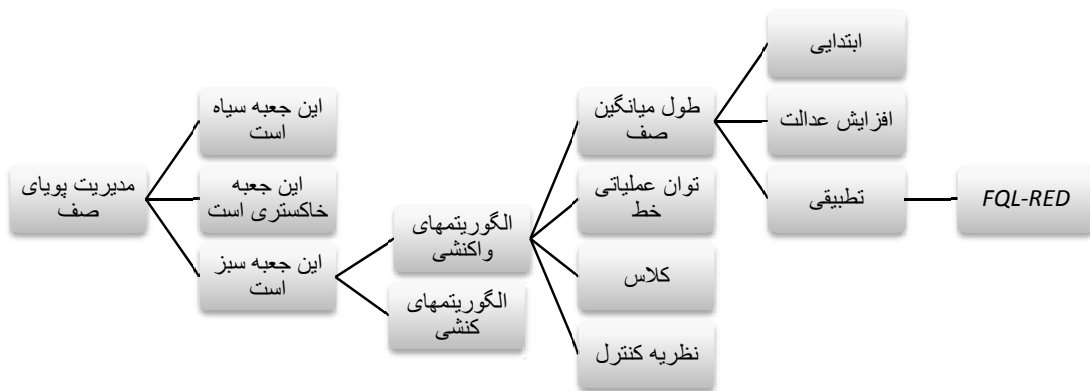
۱-۶-۶- فرآیند نمادین حل مسئله



شکل ۱-۳ زمینه های مورد بررسی



شکل ۴-۱ شماتیک کلی مسئله



شکل ۵-۱ جایگاه الگوریتم پیشنهادی در میان الگوریتمهای مدیریت پویای صف

۷-۱- مروری بر مطالعات انجام شده در رابطه با کنترل ازدحام هوشمند

RED

[,]

PI RED

- RED [] RED

RED

RED

[] .

RED

[] .

[] .

DSRED

RED

[]

FCRED

[] .

[]

[] .

[]

RED

RED

RED

RED

PID

PSO

[] .

PID

PID

PSO

[]

RBF

PID

RBF

PID

[]

PID

[]

[]

RED

[]

PSO

[]

[]

۸-۱- طرح کلی مباحث مقاله

»

« *Q*

()

Q

Q

RED

TCP

RED

OPNET

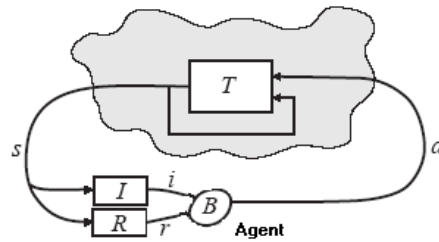
[مروری بر یادگیری تقویتی]

۱. مقدمه
۲. اکتشاف در برابر اکتساب
۳. پاداش تأخیر یافته
۴. روشهای مستقل از مدل برای یادگیری راهبرد بهینه
۵. محاسبه یادگیری بهینه با یادگیری مدل
۶. تعمیم
۷. محیطهای نیمه قابل مشاهده

۲-۱- مقدمه

[]

۲-۱-۱- مدل یادگیری تقویتی



شکل ۲-۱-۱ مدل استاندارد یادگیری تقویتی

a

S

i

B

r



- S •
- A •
- $\{ \}$ •

π

π

۲-۱-۲- مدلهای رفتار بهینه

h

t

r_t

رابطه ۱-۲ مدل افق محدود

$$E\left(\sum_{t=0}^h r_t\right)$$

« h »

$(h-1)$

h

h

« h »

h

« »

γ

رابطه ۲-۲ مدل افق نامحدود کاهش

$$E\left(\sum_{t=0}^{\infty} \gamma^t \cdot r_t\right)$$

»

«

رابطه ۲-۳ مدل میانگین پاداش

$$\lim_{h \rightarrow \infty} E\left(\frac{1}{h} \sum_{t=0}^{\infty} r_t\right)$$

۲-۱-۳- اندازه گیری کارایی یادگیری

Horizon Effect	۵۹
Infinite Horizon Discounted Model	۶۰
Average Reward Model	۶۱
Gain Optimal Policy	۶۲
Bias Optimal Model	۶۳

%

۴-۱-۲- یادگیری تقویتی و کنترل تطبیقی^{۶۶}

۲-۲- اکتشاف در برابر اکتساب^{۶۸}

Platuu^{۶۴}
Regret^{۶۵}
Adaptive Control^{۶۶}
Cost Function^{۶۷}
Exploration vs. Expoitation^{۶۸}

:

()

()

۱-۲-۲- تکنیکهای با اثبات رسمی

h

P_i

$\{P_{ij}\}$

()

$\{n_1, w_1, n_2, w_2, \dots, \dots$

w_i

n_i

i

$n_k, w_{kj}\}$

h

$V^*\{n_1, w_1, n_2, w_2, \dots, n_k, w_{kj}\}$

$$.V^*\{n_1, w_1, n_2, w_2, \dots, n_k, w_{kj}\} = 0$$

$$\sum_i n_i = h$$

رابطه ۴-۲ رابطه بازگشتی محاسبه مقدار V^* هر حالت باوری با f نوبت انجام واکنش

$$V^*\{n_1, w_1, n_2, w_2, \dots, n_k, w_{kj}\} = \max_i$$

$$E[\dots]$$

$]$

« K »

« »

$$I(n, w) \quad n \quad w \quad \langle \quad \rangle$$

$$\{i \in A / \max I(n_i, w_i)\}$$

•

« »

$$i \quad P_i$$

رابطه ۲-۵ الگوریتم پاداش خطی تنبلی: انتخاب واکنش موفق

$$\begin{cases} P_i := P_i + \alpha(1 - P_i) \\ P_j := P_j + \alpha P_j \quad \forall j \neq i \end{cases}$$

!

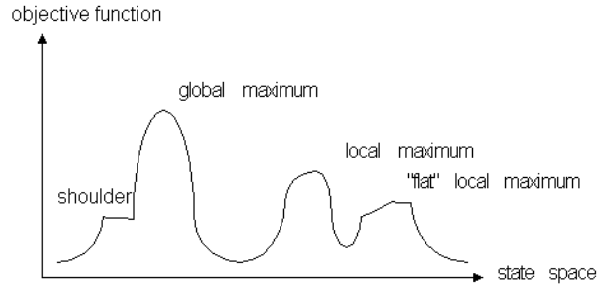
« α »

۲-۲-۲- تکنیکهای منحصر به فرد^{۷۶}

) « »

(

) « » (



شکل ۲-۲ چشم انداز فضای حالت یک بعدی که در آن ارزیابی وابسته به تابع هدف است.

()

P

P

- Sub-Optimal Action ^{۷۸}
- Greedy Strategies ^{۷۹}
- Optimality in the face of Uncertainty ^{۸۰}
- Interval Exploitation Method ^{۸۱}
- Exploitation Bonus in Dyna ^{۸۲}
- Curoosity-Driven Exploration ^{۸۳}
- Perioritized Sweeping ^{۸۴}
- Randomized Strategies ^{۸۵}

P

« »

$ER(a)$ a

رابطه ۲-۶ احتمال انتخاب واکنش a در اکتشاف بولتزمن

$$P(a) = \frac{e^{ER(a)/T}}{\sum_{a' \in A} e^{ER(a')/T}}$$

T

T

n_i

:

a_i

«

»

$100 \times (1 - \alpha)\%$

α

(n)

۲-۲-۳- مسائل تعمیم یافته تر

Ad-Hoc

Ad-Hoc

- ^{۸۶} Boltzmann Exploration
- ^{۸۷} Expected Reward
- ^{۸۸} Temperature
- ^{۸۹} Interval-Based Techniques
- ^{۹۰} Certainty
- ^{۹۱} Variance
- ^{۹۲} Interval Estimation Algorithm
- ^{۹۳} State

۳-۲- پاداش تأخیر یافته^{۹۴}

()

۳-۲-۱ فرآیندهای تصمیم مارکوف^{۹۵}

: (MDP)

- S
 - A
 - $R : S \times A \rightarrow \mathfrak{R}$
 - $T : S \times A \rightarrow \pi(S)$
- $\pi(s)$ $T(s, a, s')$ (s, a)

۳-۲-۲ یافتن راهبرد با داشتن یک مدل

MDP

π

رابطه ۷-۲ ارزش بهینه یک حالت

$$V^*(s) = \max_{\pi} E \left(\sum_{t=0}^{\infty} \gamma^t r_t \right)$$

رابطه ۸-۲ رابطه بازگشتی ارزش بهینه یک حالت

$$V^*(s) = \max_a (R(s, a) + \gamma \sum_{s' \in S} T(s, a, s') \cdot V^*(s')), \quad \forall s \in S$$

رابطه ۹-۲ تعریف رهبرد بهینه از روی تابع ارزش بهینه

$$\pi^*(s) = \arg \max_a (R(s, a) + \gamma \sum_{s' \in S} T(s, a, s') \cdot V^*(s'))$$

V^*

« »

```

initialize V(s) arbitrarily;
loop until policy good enough
  loop for s ∈ S
    loop for a ∈ A
      Q(s, a) = R(s, a) + γ ∑_{s' ∈ S} T(s, a, s') · V(s);
      V(s) = max_a Q(s, a);
    end loop
  end loop
end loop

```

»

ε

«

)

$$\frac{2\varepsilon\gamma}{1-\gamma} \quad ($$

« »

$$R(s,a) \quad r \quad T(s,a,s') \quad s \quad a \quad s \quad \alpha$$

رابطه ۱۰-۲ رابطه مبتنی بر نمونه‌گیری ارزش بهینه یک حالت

$$Q(s,a) = Q(s,a) + \alpha (r + \gamma \max_{a'} Q(s',a') - Q(s,a))$$

« »

« »

choose an arbitrary policy π ;

loop

$$\pi = \pi';$$

compute the value function of policy π :

$$V_{\pi}(s) = R(s, \pi(s)) + \gamma \sum_{s' \in S} T(s, \pi(s), s') \cdot V_{\pi}(s')$$

improve the policy at each state:

$$\pi'(s) = \arg \max_a (R(s, a) + \gamma \sum_{s' \in S} T(s, a, s') \cdot V_{\pi}(s'))$$

until $\pi = \pi'$;

۲-۴- روشهای مستقل از مدل برای یادگیری راهبرد بهینه^{۱۰۲}

MDP

$R(s,a)$

$T(s,a,s')$

○

○

« »

« »

« »

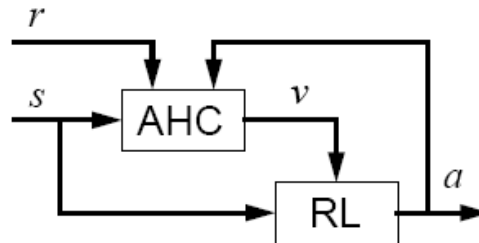
« »

« »

۲-۴-۱- سنجشگر تطبیقی راه حل ذهنی^{۱۰۶} و $TD(\lambda)$

(AHC)

$TD(0)$



شکل ۲-۳ معماری الگوریتم سنجشگر تطبیقی راه حل ذهنی

Model-Free Methods	۱۰۲
Controller	۱۰۳
Temporal Credit Assignment	۱۰۴
Temporal Difference Method	۱۰۵
Adaptive Heuristic Critic	۱۰۶

(AHC) :

RL (RL)

RL v

RL

» $\langle s, a, r, s' \rangle$

a

s

«

$TD(0)$

s'

r

رابطه ۲-۱۱ قانون بروز رسانی الگوریتم $TD(0)$

$$V(s) = V(s) + \alpha(r + \gamma V(s') - V(s))$$

$r + \gamma V(s)$

s

$V(s)$

$r + \gamma V(s)$

(

) α

r

$TD(0)$

$\lambda = 0$

$TD(\lambda)$

$TD(0)$

$TD(0)$

$TD(0)$

$TD(\lambda)$

رابطه ۲-۱۲ قانون $TD(\lambda)$

$$V(u) = V(u) + \alpha(r + \gamma V(s') - V(s)) \cdot e(u)$$

s

$e(s)$

رابطه ۲-۱۳ واجد شرایط بودن بر مبنای ملاقات در گذشته نزدیک

$$e(s) = \sum_{k=1}^t (\lambda \gamma)^{t-k} \cdot \delta_{s,s_k}$$

s

$$S=S_k$$

$$\delta_{s,s_k} = 1$$

$$\lambda = 1$$

$$TD(0)$$

$$\lambda = 0$$

$$e(s) := \begin{cases} \gamma \cdot \lambda \cdot e(s) + 1 & , s = \text{current state} \\ \gamma \cdot \lambda \cdot e(s) & , \text{otherwise} \end{cases}$$

λ

$$TD(\lambda)$$

۲-۴-۲- یادگیری Q^{۱۱۰}

AHC

Q

s

a

$$Q^*(s,a) :$$

s

V^*

رابطه ۲-۱۵ رابطه Q* و V*

$$V^*(s) = \max_a Q^*(s,a)$$

$$Q^*(s,a) = R(s,a) + \gamma \sum_{s' \in S} T(s,a,s') \cdot \max_{a'} Q^*(s,a')$$

رابطه ۲-۱۶ رابطه بازگشتی محاسبه Q*

$$\pi^*(s) = \arg \max_a Q^*(s,a)$$

$$Q \quad TD(0) \quad Q$$

$$Q$$

: Q
 رابطه ۲-۱۸ قانون Q -Learning

$$Q(s, a) = Q(s, a) + \alpha(r + \gamma \max_{a'} Q(s', a') - Q(s, a))$$

$\langle s, a, r, s' \rangle$

$$TD(\lambda) \quad Q \quad Q^* \quad Q \quad \alpha$$

AHC Q AHC

$$Q \quad Q$$

-)

$$Q \quad - \quad ($$

$$Q$$

۲-۴-۳- یادگیری مستقل از مدل با پاداش متوسط

$$MDP \quad Q$$

۲-۵- محاسبه راهبرد بهینه با یادگیری مدل

$$R(s, a) \quad T(s, a, s')$$

۲-۵-۱- روشهای هم ارزش قطعی^{۱۱۳}

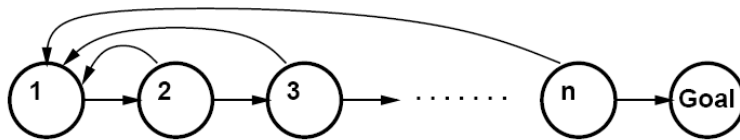
$T R$:

»

«

○

○



شکل ۲-۴ در این محیط به اکتشاف تصادفی $O(n^2)$ مرحله برای حتی یکبار رسیدن به هدف نیاز دارد، در حالی که یک رویکرد اکتشاف هوشمندانه تر (به عنوان مثال: « هر واکنش امتحان نشده‌ای مستقیماً به هدف منجر می‌شود.») تنها به $O(n)$ مرحله نیاز دارد.

○

«

»

○

۲-۵-۲- داینا^{۱۱۴}

« »

(\hat{R}, \hat{T})

- $\langle s, a, r, s' \rangle$

• $\hat{R} \hat{T}$
 $s' \quad s \quad r \quad s' \quad a \quad s \quad a$
 $s \quad \circ$

رابطه ۲-۲۰ بروز رسانی راهبرد در حالت فعلی در الگوریتم داینا

$$Q(s, a) = \hat{R}(s, a) + \gamma \sum_{s'} \hat{T}(s, a, s') \cdot \max_{a'} Q(s', a')$$

- $K : K \quad \circ$

رابطه ۲-۲۱ بروز رسانی راهبرد در حالت تصادفی در الگوریتم داینا

$$Q(s_k, a_k) := \hat{R}(s_k, a_k) + \gamma \sum_{s'} \hat{T}(s_k, a_k, s') \cdot \max_{a'} Q'(s', a')$$

$Q \quad s \quad a \quad \circ$

$Q \quad K$

K

۲-۵-۳- کاوش اولویت دار^{۱۱۶} / داینا صف دار^{۱۱۷}

« »

« »

« »

« »

« »

« »

$$V(s) = \max_a (\hat{R}(s, a) + \gamma \sum_{s'} \hat{T}(s, a, s') V(s'))$$

$$V_{old} = V(s)$$

« »

:

$$V_{old} = V(s)$$

رابطه ۲-۲۲ رابطه بروز رسانی ارزش حالتها در کاوش اولویت دار

$$V(s) = \max_a (\hat{R}(s, a) + \gamma \sum_{s'} \hat{T}(s, a, s') V(s'))$$

$$\Delta = |V_{old} - V(s)|$$

Δ s

Δ s V

a s $(s$

$$\Delta \times \hat{T}(s, a, s')$$

$$\hat{T}(s, a, s') \neq 0$$

) « »

(

() « »

()

۲-۵-۴- سایر روشهای مبتنی بر مدل

MDP

Q « (RTDP) »

MDP « »

« » MDP MDP

« »

MDP

۲-۶- تعمیم^{۱۲۵}

« »

« »

- Real Time Dynamic Programming^{۱۲۱}
- Plaxus Planning System^{۱۲۲}
- Envelope^{۱۲۳}
- Out^{۱۲۴}
- Generalization^{۱۲۵}
- Generalization Techniques^{۱۲۶}

« »

$S \rightarrow A$ ○

$S \rightarrow R$ ○

$Q : S \times A \rightarrow R$ ○

$S \times A \rightarrow S$ ○

$S \times A \times S \rightarrow [0,1]$ ○

CMAC :

۲-۶-۱- تعمیم روی ورودی^{۱۳۴}

« »

Inductive Concept Learning	۱۲۷
Straight Frward Supervised Learning	۱۲۸
Noisy	۱۲۹
Neural Networks	۱۳۰
Fuzzy Logic	۱۳۱
Local Memory Based Methods	۱۳۲
Generalization of Nearest Neighbor	۱۳۳
Generalization Over Input	۱۳۴
Structural Credit Assignment	۱۳۵

()

« »

»

AHC

«

(*CRBP*) « »

$\langle s, a \rangle$

$r=1$ a

○

$\bar{a} = (1-a_1, \dots, 1-a_n) :$

$\langle s, a \rangle$

$r=0$

○

CRBP

|

Immediate Reward	^{۱۳۶}
Associative RL	^{۱۳۷}
Reward Comparison	^{۱۳۸}
Complementary Reinforcement BackPropagation	^{۱۳۹}
Feed Forward	^{۱۴۰}

AHC (ARC) « »

« »

»

w_{ij} (. .) «

رابطه ۲-۲۳ حالت کلی بروز رسانی تقویت برای پارامتر w_{ij}

$$\Delta w_{ij} = \alpha_{ij} (r - b_{ij}) \frac{\partial}{\partial w_{ij}} \ln(g_j)$$

g_i

b_{ij}

r

α_{ij}

w_{ij}

b_{ij} α_{ij}

α_{ij}

« »

K-DNF :

« »

Q

)

(

« »

« »

»

:

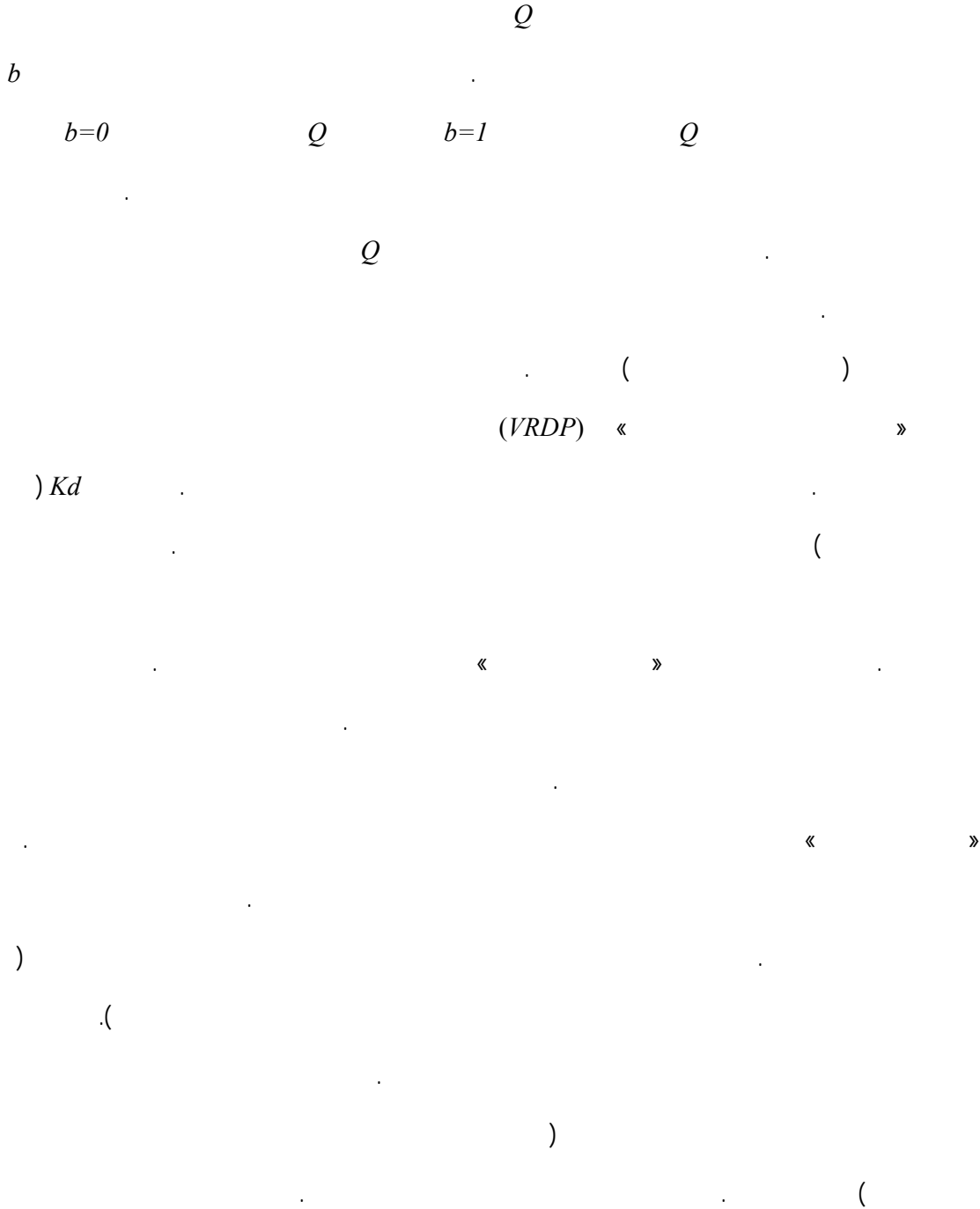
« G »

»

Q

«

Cascade Method	۱۴۶
Monte-Carlo Experiment	۱۴۷
Near-Optimal	۱۴۸
Residual Gradient	۱۴۹
Partition	۱۵۰
Granularity	۱۵۱
Adaptive Resolution	۱۵۲
Decision Trees	۱۵۳



G-Learning	104
Split	100
Parity	106
Dynamic Resolution Dynamic Programming	107
Coarse Regions	108
Mental Trajectories	109
PartiGame Algorithm	110
MiniMax	111

۲-۶-۲- تعمیم روی واکنشها^{۱۶۲}

Q

Q

« »

۳-۶-۲- مدل‌های سلسله مراتبی^{۱۶۴}

Generalization Over Actions^{۱۶۲}

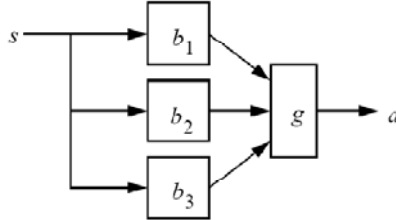
Neural RL^{۱۶۳}

Hierarchical Models^{۱۶۴}

« »

« »

« »



شکل ۲-۵ یادگیری سلسله مراتبی: ساختاری از رفتارهای دروازه‌بندی شده

:

.....

Q •

« »

« »

()

Q •

(C-QL)

« »

Gated Behavior	۱۶۵
Gating Function	۱۶۶
Feudal Q-Learning	۱۶۷
Master	۱۶۸
Slave	۱۶۹
Command	۱۷۰
Compositional Q-Learning	۱۷۱

HDG

« »

HDG

۷-۲- محیطهای نیمه قابل مشاهده^{۱۷۶}

» *MDP*

:) «

« » « » « » (...

Sequensing of Subgoals^{۱۷۲}

Elemental Tasks^{۱۷۳}

Hierarchical Distance To Goal^{۱۷۴}

Landmark^{۱۷۵}

Partially Observable Environment^{۱۷۶}

Observation^{۱۷۷}

Incomplete Perception^{۱۷۸}

Perceptual Aliasing^{۱۷۹}

Hidden State^{۱۸۰}

»

MDP

$POMDP$ «

۲-۷-۱- راهبردهای قطعی مستقل از حالت^{۱۸۱}

Q

« »

Q

— — « »

$NP-Hard$

۲-۷-۲- راهبردهای تصادفی مستقل از حالت^{۱۸۲}

$NP-Hard$

۲-۷-۳- راهبردهای دارای حالت درونی^{۱۸۳}

Q

« Q »

« »

()

^{۱۸۱} State-Free Deterministic Policies

^{۱۸۲} State-Free Stochastic Policies

^{۱۸۳} Policies with Internal States

« »

« » Q

« »

« »

(HMM) « »

« » « »

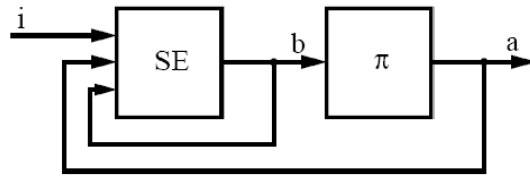
« » POMDP HMM

()

b « »

(I) (a)

Recurrent Q-Learning	۱۸۴
Recurrent NN	۱۸۵
History Features	۱۸۶
Classifier System	۱۸۷
Bucket Brigade Algorithm	۱۸۸
Finite History Window	۱۸۹
Utile Suffix Memory	۱۹۰
Hidden Markov Model	۱۹۱
Perfect Memory Controller	۱۹۲
Forward-Backward Algorithm	۱۹۳
State Splitting Rules Heuristic	۱۹۴
Estimated World Model	۱۹۵
Bayes Rule	۱۹۶



شکل ۲-۶ ساختار یک عامل *POMDP*

MDP

()

[یادگیری Q فازی]

۱. مقدمه
۲. سیستم استنتاج فازی
۳. یادگیری Q فازی برای فضای واکنش گسسته

(FRL)

FRL Q (FIS) *AHC* *FRL* *RL*

[]

-
-
-
-
-
-
-
-

TD Q :

FIS

FIS

FIS

FIS

Fuzzy Inference System	۱۹۷
Actor Critic Learning	۱۹۸
Universal Approximators	۱۹۹
Priori Knowledge	۲۰۰
Rule-Base	۲۰۱

() *TS-FIS*

Q *TS-FIS*

۳-۲- سیستم استنتاج فازی

() (*FIS*)

(

(*TS-FIS*)

(*M-FIS*)

:

TS-FIS

Fuzzy If-Then) « »

FIS

[]

(*Rules*

۳-۲-۱- سیستم استنتاج فازی تاکاگی- سوگنو (*TS-FIS*)

: *TS-FIS*

)

(

FIS

Linguistic Terms	۲۰۲
Mamdani Type	۲۰۳
Takagi-Sugeno Type	۲۰۴
Zero-Order Form	۲۰۵
Membership Function	۲۰۶
Singleton Spikes	۲۰۷
First-Order Form	۲۰۸
Consequent part of the rule	۲۰۹

« » / « »

AND

AND

OR

X_f

L_i n X X_f

رابطه ۱-۳ تعریف برجسبهای زبانی متغیرهای فازی

$$X_f = L_i$$

$$L_i = \{x, \mu_{L_i}\}$$

...

:()

$$\forall x \in X \quad \sum_{i=1}^n \mu_{L_i}(x) = 1 \quad X_f$$

() x

x

()

n \bar{X}

N

FIS

رابطه ۲-۳ قالب قوانین TS-FIS

OR^{۲۱۰}
AND^{۲۱۱}

Input Vector: $X = (x_1, \dots, x_n)$

$$i \quad x_j \quad (j=1, \dots, N \quad i=1, \dots, N) L_j^i \quad o_i$$

رابطه ۳-۳ تعداد قوانین پایگاه قوانین TS-FIS

$$N = \prod_{i=1}^n N_{L_i}$$

x_i () N_{L_i}
 « » \vec{X}
 $2^n X$ A $A(X)$

$$\alpha_{R_i}$$

T-norm

رابطه ۴-۳ میزان درستی هر قانون TS-FIS

$$\alpha_{R_i}(x) = \prod_{j=1}^n \mu_{L_j^i}(x_j), \forall R_i \in A(x)$$

$$L_j^i \quad \mu_{L_j^i}$$

رابطه ۵-۳ تبدیل خروجی های قطعی قوانین TS-FIS به نیزه های منفرد

$$\mu_{o_i}(y) = \begin{cases} 1 & , y = o^i \\ 0 & , otherwise \end{cases}$$

$\mu_{b^i}(y)$

o^i

$Y_o(X)$ FIS

رابطه ۳-۶ محاسبه خروجی مجموع FIS

$$Y_o(X) = \frac{\sum_{R_i \in A(X)} \alpha_{R_i}(X) \times o^i}{\sum_{R_i \in A(X)} \alpha_{R_i}(X)}$$

(MISO)

(MIMO)

TS-FIS

T-norm

(OR AND)

T-conform

TS-FIS T-norm

TS-

() FIS

Multi Input Single Output	۲۱۴
Multi Input Multi Output	۲۱۵
Fuzzification	۲۱۶
Rule Evaluation	۲۱۷

TS-FIS

TS-FIS

M-FIS

TS-FIS

TS-FIS M-FIS

()

T-conform

TS-FIS

TS-FIS

M-FIS

M-FIS

M-FIS

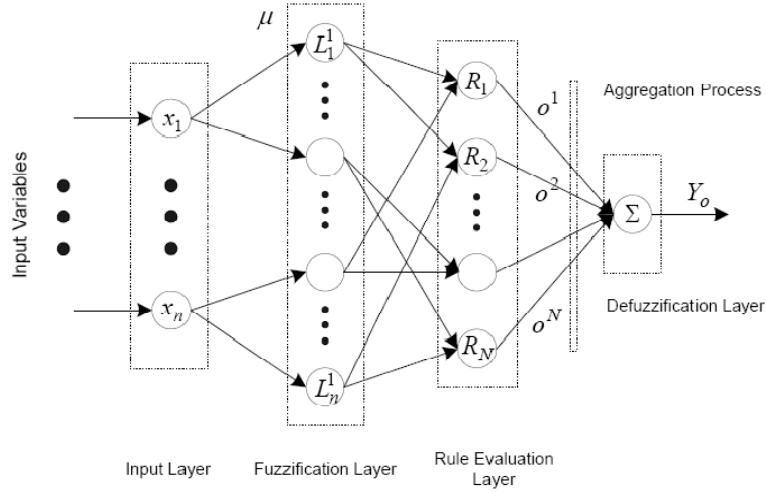
TS-FIS

TS-FIS

۲-۲-۳- معماری *FIS*^{۲۱۹}

FIS

o^i



شکل ۱-۳ معماری سیستم استنتاج فازی

MIMO

MISO

۳-۳-۳ یادگیری Q فازی برای فضای گسسته واکنش

۱-۳-۳-۳ چارچوب FQL

Q

Q

FQL

FQL

t

w^i

Q

: FQL

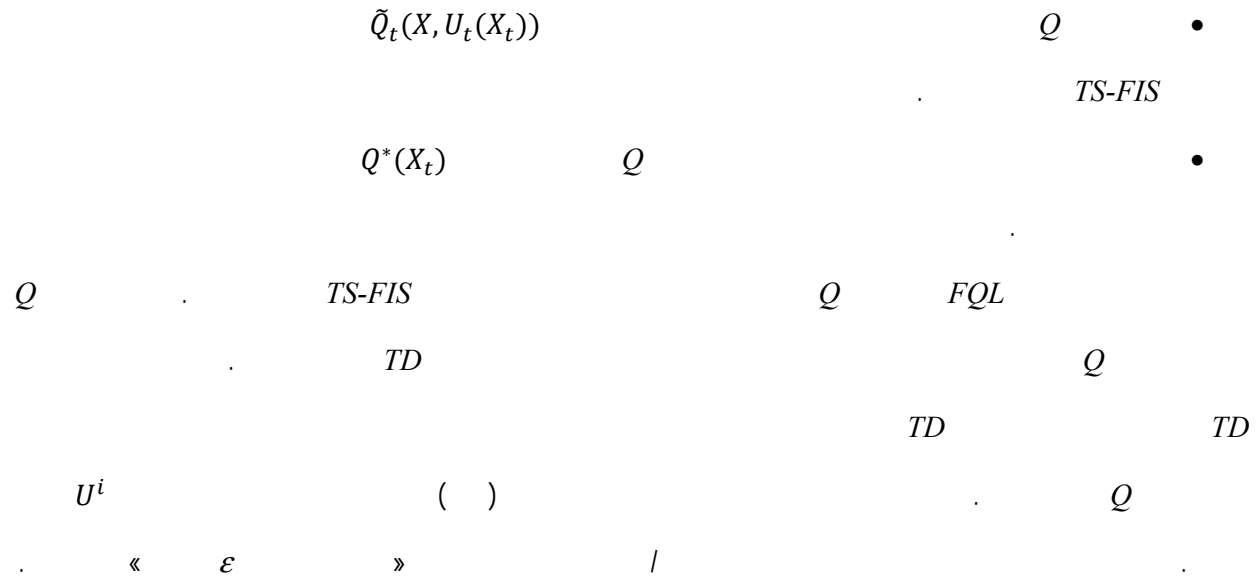
U^i

R_i

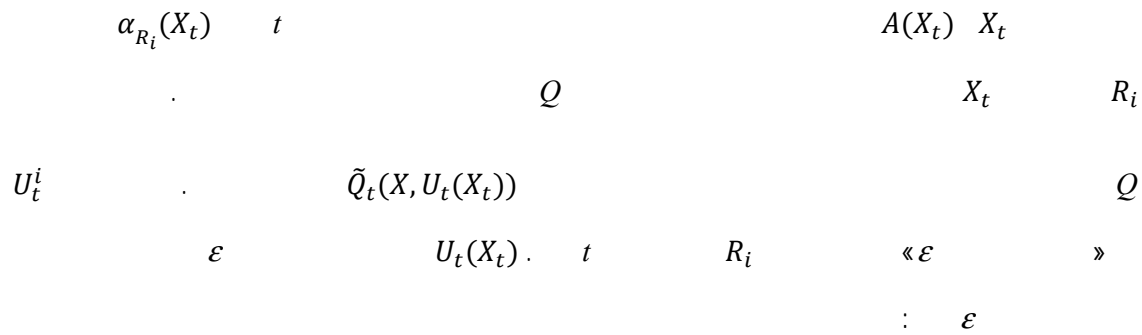
$U^i(k)$

K

w^i

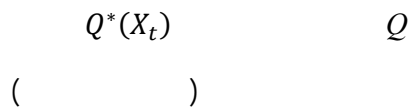


۳-۳-۲- شالوده FQL



رابطه ۷-۳ تخمین مقدار Q جاری FQL

$$\tilde{Q}_t(X, U_t(X_t)) = \frac{\sum_{R_i \in A(X_t)} \alpha_{R_i}(X_t) \times w_t^i(U_t^i)}{\sum_{R_i \in A(X_t)} \alpha_{R_i}(X_t)}$$



رابطه ۸-۳ مقدار Q بهینه برای ورودی جاری FQL

$$Q^*(X_t) = \frac{\sum_{R_i \in A(X_t)} \alpha_{R_i}(X_t) \times \left[\max_{a \in U^i} w_t^i(a) \right]}{\sum_{R_i \in A(X_t)} \alpha_{R_i}(X_t)}$$

$$TD(0) \quad Q$$

$$:(0 < \gamma \leq 1) \quad \gamma$$

رابطه ۹-۳ محاسبه خطای $TD(0)$ برای FQL

$$\tilde{\epsilon}_{t+1} = r_{t+1} + \gamma \times Q_t^*(X_{t+1}) - \tilde{Q}_t(X, U_t(X_t))$$

$$U^i \quad ()$$

ϵ

FQL

« ϵ »

ϵ Greedy

$$U_t^i \quad \langle \quad \rangle$$

$$n_t(a) \quad \theta \quad \epsilon \text{ Greedy} \quad t \quad R_i$$

$t \quad a$

U^i

رابطه ۱۰-۳ اعمال انتخاب حریمانه ϵ روی مجموعه واکنشهای قوانین توأم با اکتشاف

$$U_t^i = U^i(k) \quad | \quad EE(U^i(k)) = \max_{a \in U^i} EE(a)$$

$$EE(a) = w_t^i(a) + \frac{\theta}{e^{n_t(a)}} \quad , \theta > 0$$

$$w_t^i(a) : \theta / e^{n_t(a)} \quad EE(a)$$

$$w_t^i(a) \quad n_t(a) \quad EE$$

θ

$$[\quad] \quad \theta$$

$$U_t(X_t) \quad U_t(X_t) \quad \varepsilon$$

M

U_t^{i*}

EE

i^*

رابطه ۳-۱۱ انتخاب حریصانه ε مضاعف برای پیدا کردن جواب نهایی FQL

$$U_t(X_t) = U_t^{i*} \quad | \quad EE(U_t^{i*}) \times \alpha_{R_i^*}(X_t) = \max_{R_i \in A(X_t)} (EE(U_t^i) \times \alpha_{R_i}(X_t))$$

FQL

U_t^i

TD

$TD(0)$

رابطه ۳-۱۲ بروزرسانی وزن واکنشها به کمک قانون یادگیری $TD(0)$

$$w_{t+1}^i(U_t^i) = w_t^i(U_t^i) + \tilde{\varepsilon}_{t+1} \times \alpha_{R_i} \quad , \forall R_i \in A(X_t)$$

« »

ε

TD

$TD(\lambda) \quad TD(0)$

ε

« »

()

رابطه ۳-۱۳ بروزسانی وزن واکنشها به کمک قانون یادگیری $TD(\lambda)$

$$w_{t+1} = w_t + \tilde{\varepsilon}_{t+1} \times e_t^a, \forall R_i$$

()

()

e_t^a

$(0 \leq \lambda_a \leq 1)$

λ_a

رابطه ۳-۱۴ ماتریس پیگیری مطلوبیت

$$e_t^a(U^i(k)) = \begin{cases} \lambda_a \times e_{t-1}^a(U^i(k)) + \alpha_{R_i}, & U^i(k) = U_t^i \\ \lambda_a \times e_{t-1}^a(U^i(k)), & \text{otherwise} \end{cases}, \forall U^i(k) \text{ and } R_i$$

$TD(\lambda)$

$TD(\lambda)$

ε Greedy

[] $TD(0)$

۳-۳-۳ معماری FQL

TS-FIS

FQL

Q

Q

FQL

۳-۳-۴ الگوریتم FQL

FQL

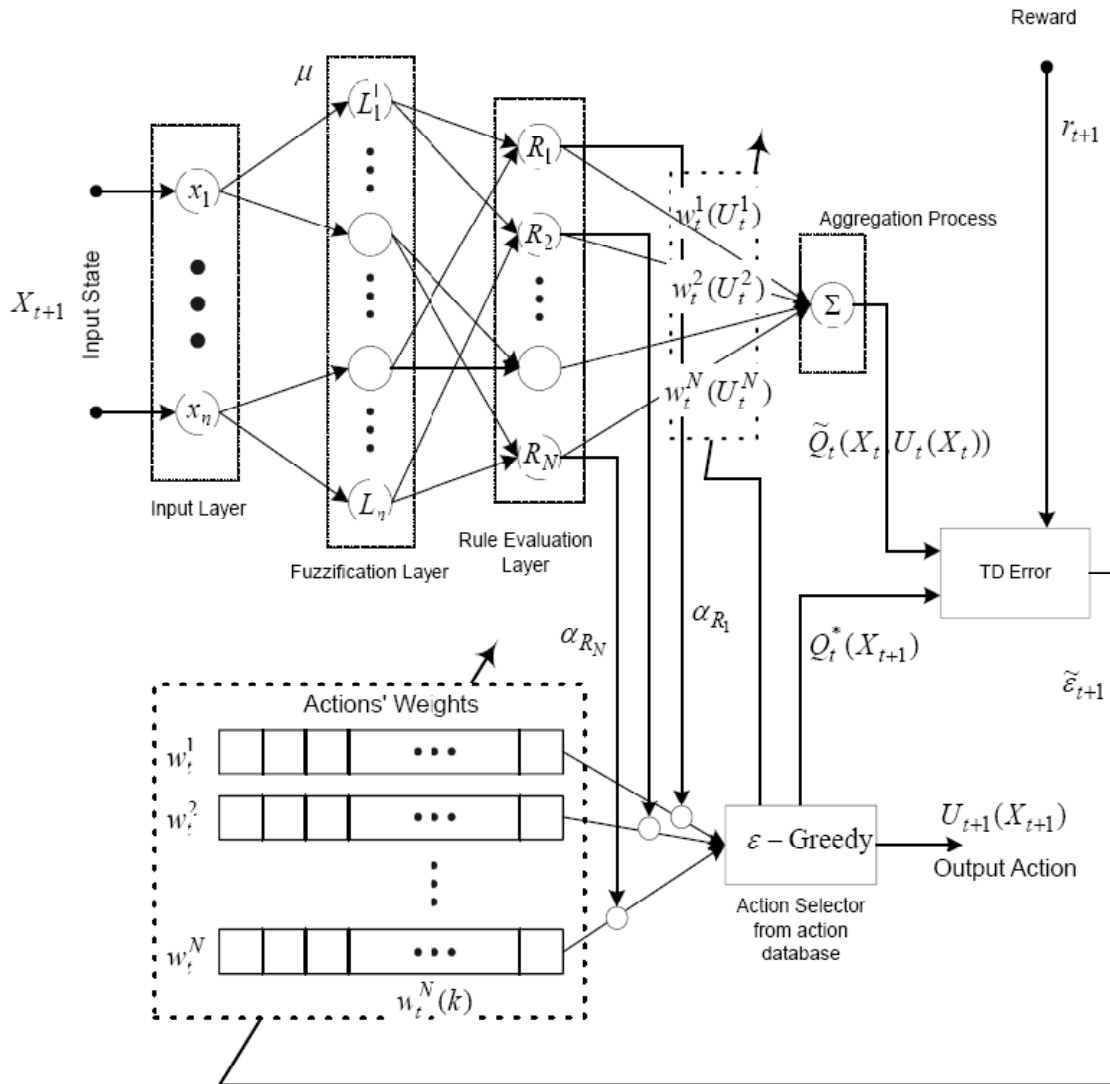
r_{t+1}

t

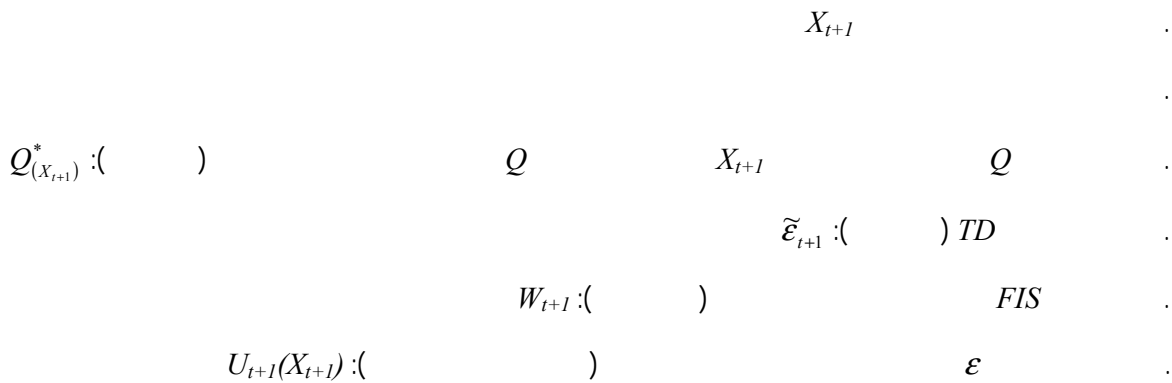
$U_t(X_t)$

t+1

:



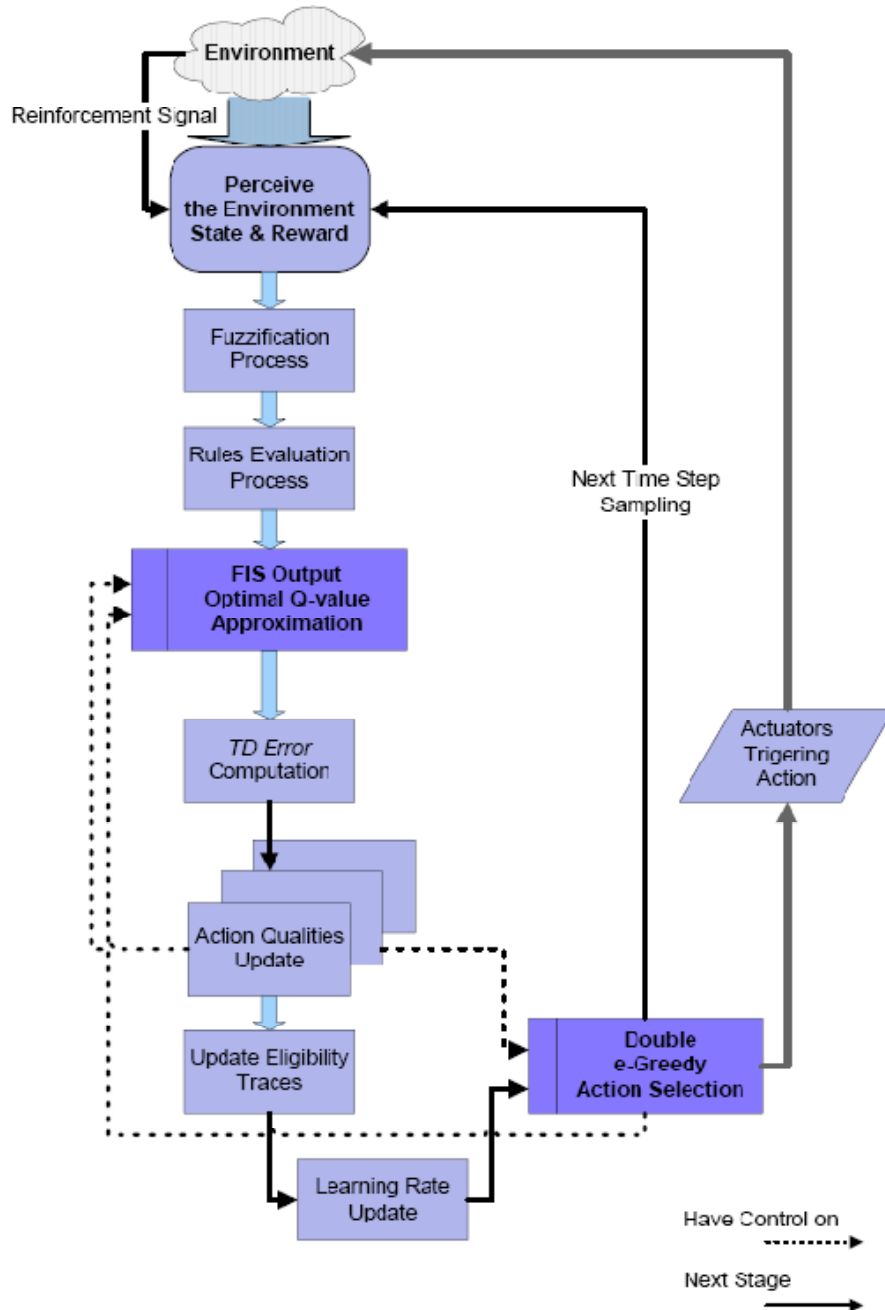
شکل ۲-۳ معماری یادگیری Q فازی



$$Q \quad U_{t+1}(X_{t+1}), X_{t+1} \quad Q$$

$$\tilde{Q}_{t+1}(X_{t+1}, U_{t+1}(X_{t+1})) : (\quad)$$

[] *FQL*



شکل ۳-۳ فلوجارت *FQL* برای فضای واکنش گسسته

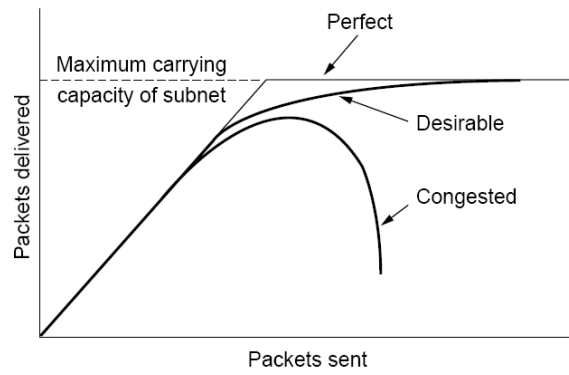
[کنترل ازدحام]

۱. مقدمه
۲. اصول کلی در کنترل جریان
۳. سیاستهای پیشگیری از ازدحام
۴. کنترل ازدحام در زیرشبکه های دیتاگرام
۵. دور ریختن بار
۶. کنترل ازدحام در TCP
۷. پارامترها و سازوکارهای مرتبط
۸. مدیریت ترافیک
۹. مروری بر الگوریتمهای کنونی مدیریت پویای صف

« »

)

(



شکل ۴-۱ وقتی ترافیک تحویلی به شبکه بیش از اندازه باشد ازدحام بوجود می آید و کارایی بشدت افت می کند.

« »

« »

« »

[]

)

(

()

« » « »

« » « »

»

«

« »

1000 Ggagabits/sec

!

()

1 Mbps « »

!

1000Kbps

(*Slowdown*)

۲-۴- اصول کلی در کنترل جریان

« » « » « » :

: « »

« »

« »

!

« »

« »:

« »

« »

Yang Reddy

Time Constant ^{۳۳}

« » . « » « »

« »

.« » « »:

(ACK))

« » « »

.(CPU)

()

() () ():

()

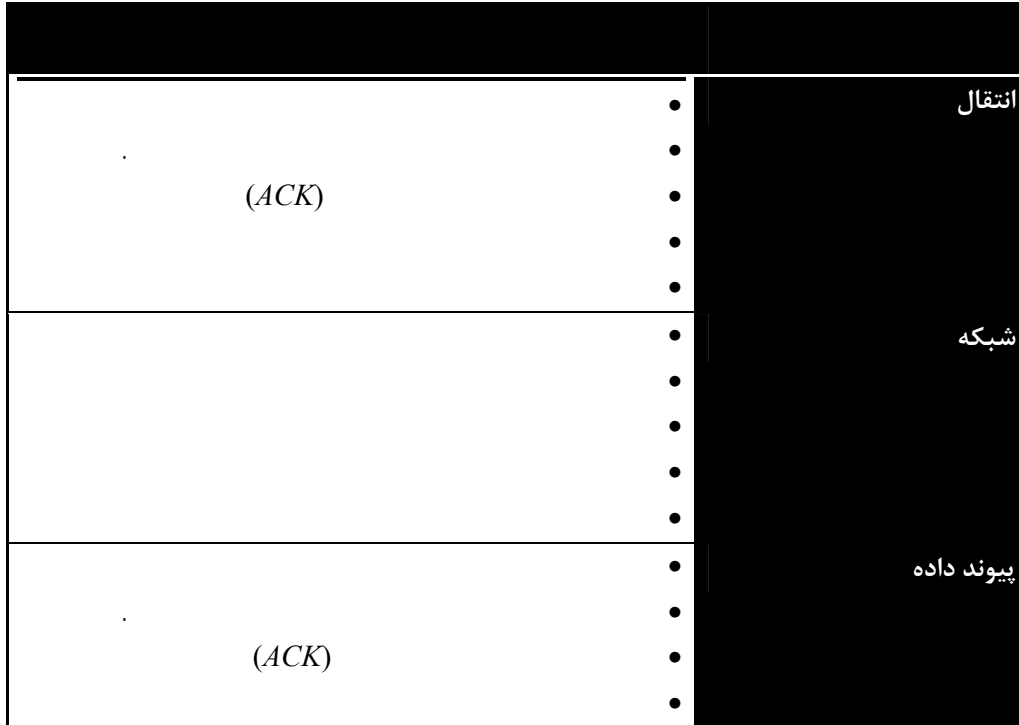
Dial Up^{۳۳}

)

(

۳-۴ - سیاستهای پیشگیری از ازدحام

« »



شکل ۲-۴ سیاستهایی که بر پدیده ازدحام تأثیر می گذارند.

(ACK)

:

-
-

Go Back n

Selective Repeat

»

Go Back n

«

Piggybacking

(ACK)

()

« » « »

(*Round Robin*)

« ».

()

۴-۴ - کنترل ازدحام در زیر شبکه‌های دیتاگرام

()

1.0 0.0 u

u

u (f) f

رابطه ۴-۱ محاسبه بهره‌وری خط

$$U_{new} = \alpha \cdot U_{old} + (1 - \alpha) \cdot f$$

α

« »

u

۴-۴-۱- بیت هشدار^{۲۴۲}

Timeout Interval^{۲۳۸}
Utilization^{۲۳۹}
^{۲۴۰}

Threshold^{۲۴۱}

« » DECNET

ACK

Frame Relay

ACK

ACK

« »

۲۴۳-۴-۲-۴-۴ - بسته‌های دعوت به آرامش

« »

)

« »

.(

(X)

« »

« »

« »

« »

« »

« » « » « » « »

(u)

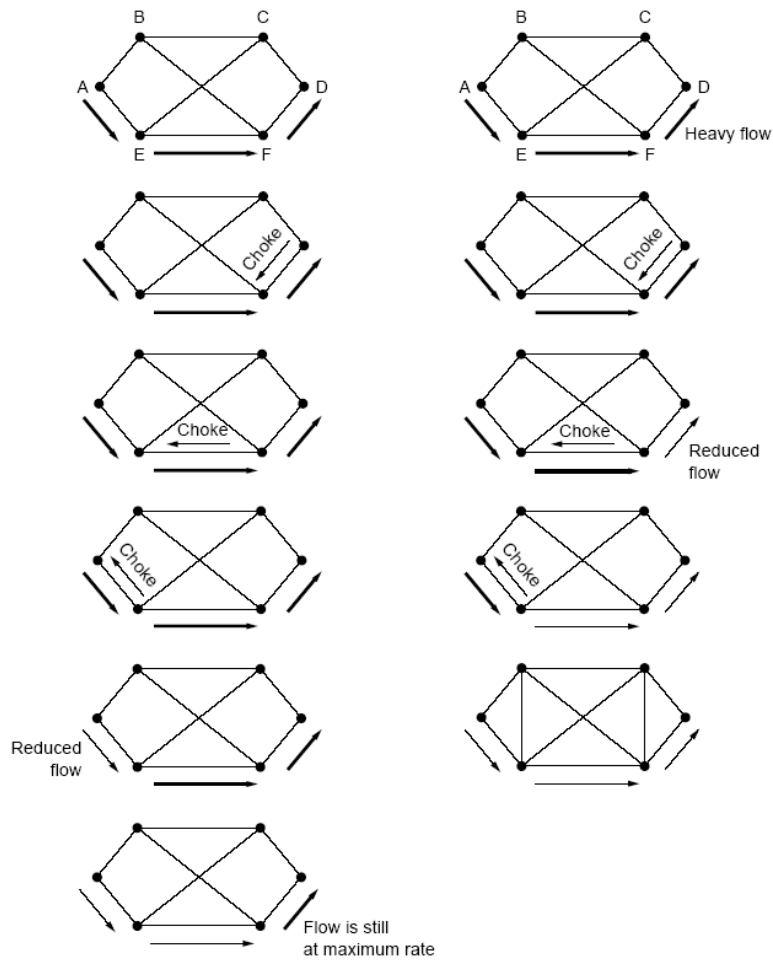
۴-۴-۳- بسته‌های دعوت به آرامش گام به گام^{۲۴۵}

« »

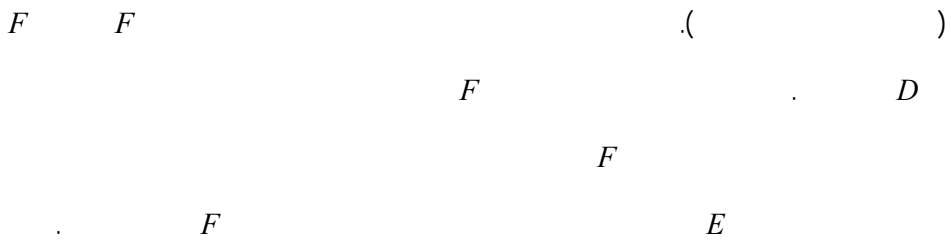
(A)

(D)

« »



شکل ۴-۳ (الف) یک بسته دعوت به آرامش که فقط مبداء را تحت تأثیر قرار می‌دهد. (ب) یک بسته دعوت به آرامش که در هر گام، بر روی مسیر یابها واقع بر مسیر تأثیر می‌گذارد.



A

F

E

۴-۵- دور ریختن بار^{۲۴۷}

» :

! «

!

)

(

()

ASCII

()

۴-۵-۱- تشخیص زود هنگام تصادفی^{۲۴۸}

RED

(TCP)

TCP

« »

(ACK)

« »

۴-۶- کنترل ازدحام در TCP

TCP

« »

(RFC 193 1122 1323 2018 2581) TCP

TCP

TCP

« »

» TCP

«

TCP

« »

TCP

IP

TCP

:

)

.(

TCP

TCP

TCP

« »

TCP

Full Duplex^{۲۰۲}
Internet Protocol^{۲۰۳}
Best Effort^{۲۰۴}
First-Time ACK^{۲۰۵}
Duplicate ACK^{۲۰۶}
Negative ACK^{۲۰۷}
Fast Retransmit^{۲۰۸}

« » :

TCP . ()

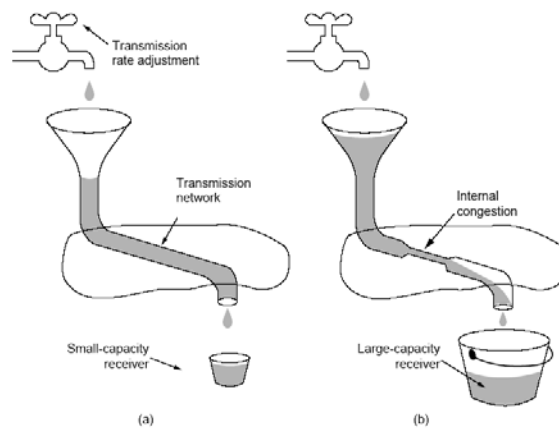
() :

() .

TCP

() Timeout TCP

TCP



شکل ۴-۴ تعبیر هیدرولیکی ازدحام (الف) یک شبکه سریع که یک گیرنده با ظرفیت کم را تغذیه می کند، (ب) شبکه کند که یک گیرنده با ظرفیت بالا را تغذیه می کند.

)

.(

:

« »

« » !

« »

« »

« »

) n

n

(n)

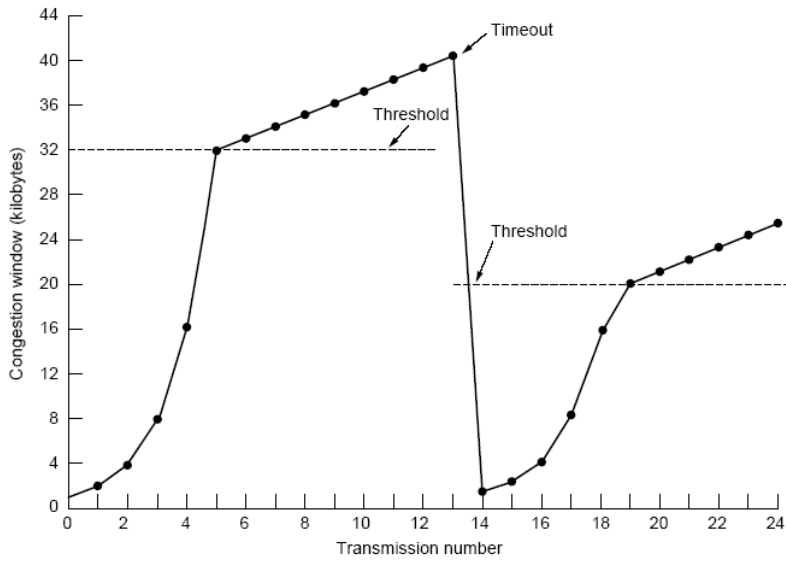
(

« »

« » « »

Congestion Window^{۲۶۱}

TCP



شکل ۴-۵ مثالی از الگوریتم کنترل ازدحام در اینترنت

()

).

)

(.

« » .(

ACK

TCP

ICMP SOURCE QUENCH

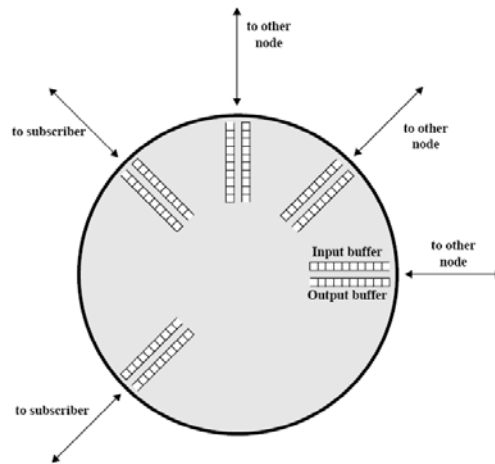
RFC 3168

۴-۷- پارامترها و ساز و کارهای مرتبط

()

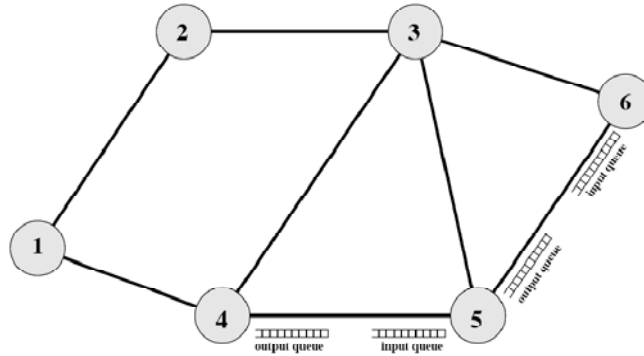
%

I/O



شکل ۴-۶ صفهای ورودی و خروجی هر گره

()



شکل ۴-۷ تعامل صفها در شبکه داده

۴-۷-۱- کارایی ایده آل

[]

)

(

)

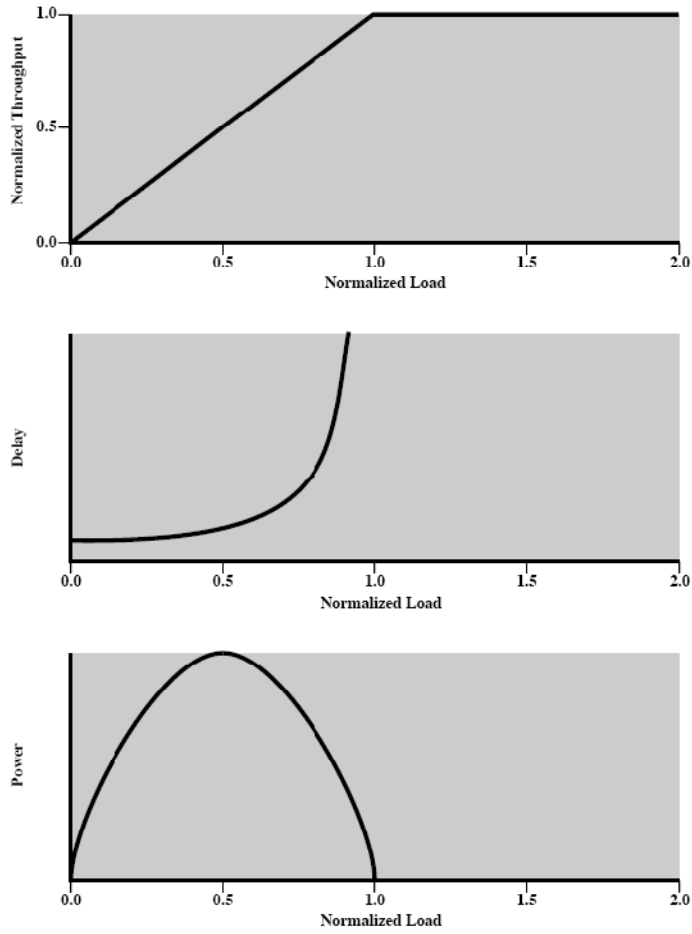
(

--

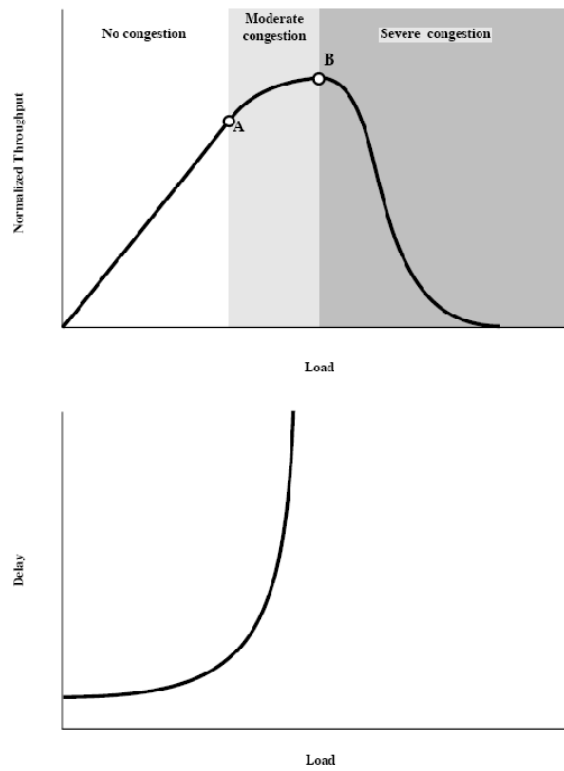
/

/

/



شکل ۴-۸ بهره وری ایده آل شبکه



شکل ۴-۹ اثر ازدحام

(A)

B)

(

)

(

۴-۷-۳- فشار معکوس

()

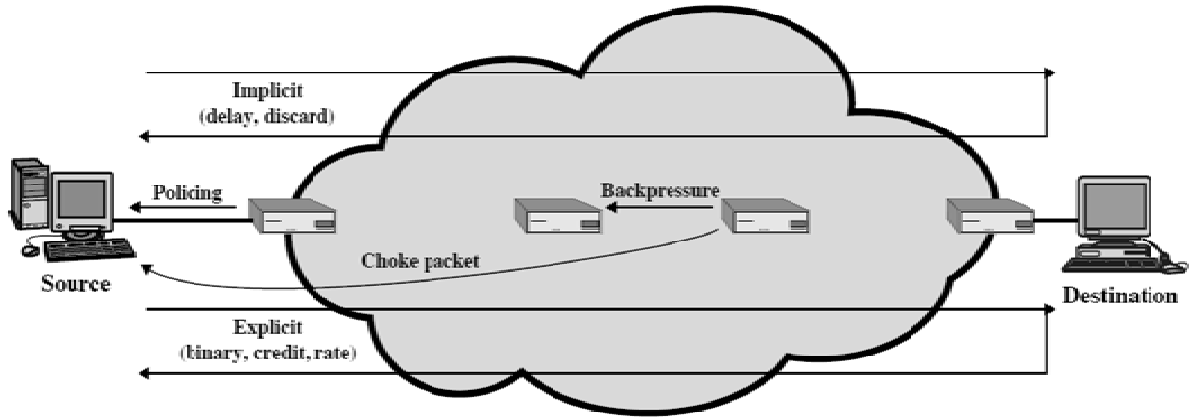
()

()

()

()

()



شکل ۴-۱۰ مکانیزم‌هایی برای کنترل ازدحام

IP ()

۴-۷-۴- بسته شوک

() *ICMP*

IP

۴-۷-۵- سیگنالینگ ضمنی ازدحام

TCP

TCP

IP

TCP

TCP

۴-۷-۶- سیگنالینگ صریح ازدحام

(TCP)

Octet

۴-۸- مدیریت ترافیک

۴-۸-۱- عدالت

۴-۸-۲- کیفیت سرویس

(QoS)

QoS

۴-۸-۳- رزروها

ATM

RSVP

IP

()

کنترل ازدحام در شبکه‌های سوئیچینگ بسته‌ای -۴-۸-۴

ARPANET

()

۴-۹- مروری بر الگوریتمهای کنونی مدیریت پویای صف^{۲۶۴}

(AQM)

[]

AQM

۴-۹-۱- هدف کلی الگوریتمهای مدیریت پویای صف

)

TCP

(«

AQM

(QoS)

« »

AQM

TCP

Active Queue Management	^{۲۶۴}
Drop Tail	^{۲۶۵}
Throughput	^{۲۶۶}
Quality of Service	^{۲۶۷}
Router	^{۲۶۸}
Propagation Delay	^{۲۶۹}

۴-۹-۲- یک دسته‌بندی^{۲۷۰} الگوریتمهای مدیریت پویای صف

AQM

-
-
-
-

AQM

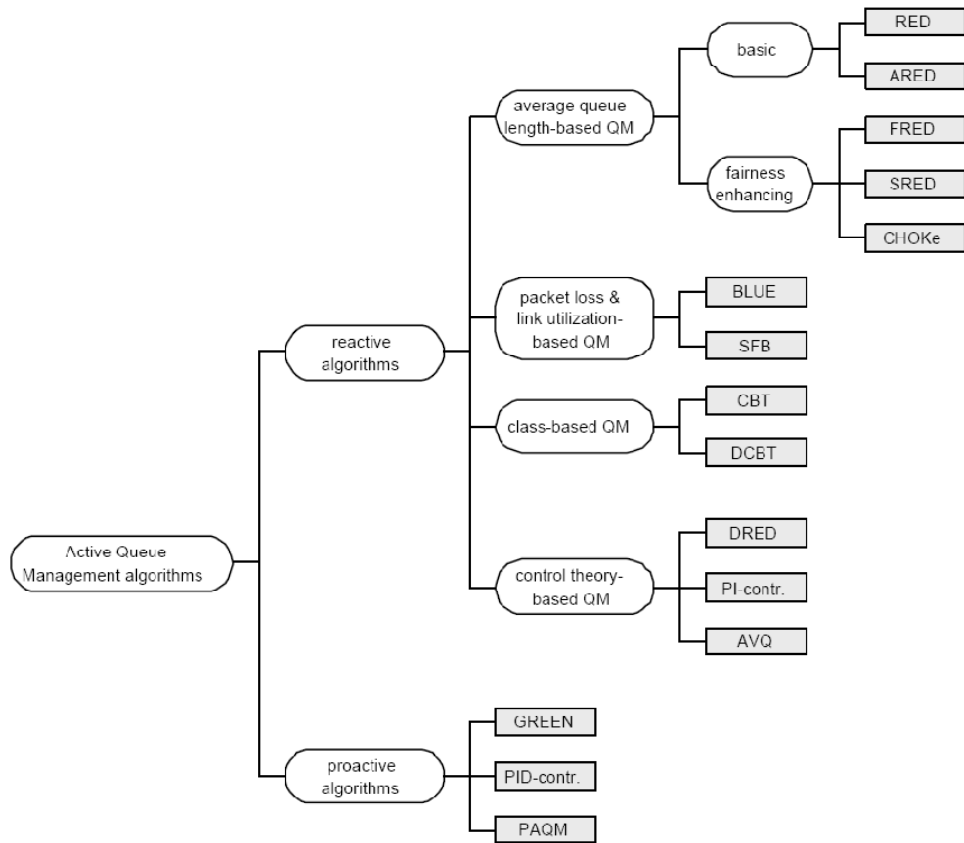
-

AQM

-

AQM ()

Classification	^{۲۷۰}
Control Theory	^{۲۷۱}
Reactive	^{۲۷۲}
Proactive	^{۲۷۳}
Congestion Avoidance	^{۲۷۴}
Congestion Prevention	^{۲۷۵}
Expected Congestion	^{۲۷۶}



شکل ۴-۱۱ دسته‌بندی الگوریتم‌های AQM

۴-۹-۳- الگوریتم‌های مبتنی بر میانگین طول صف

AQM

(RED)

TCP

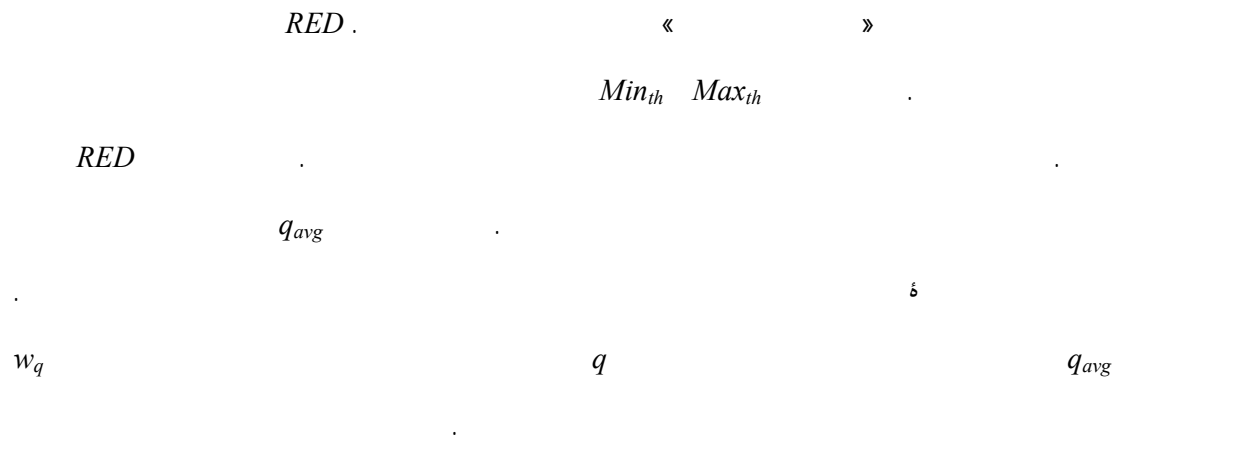
AQM

RED

RED

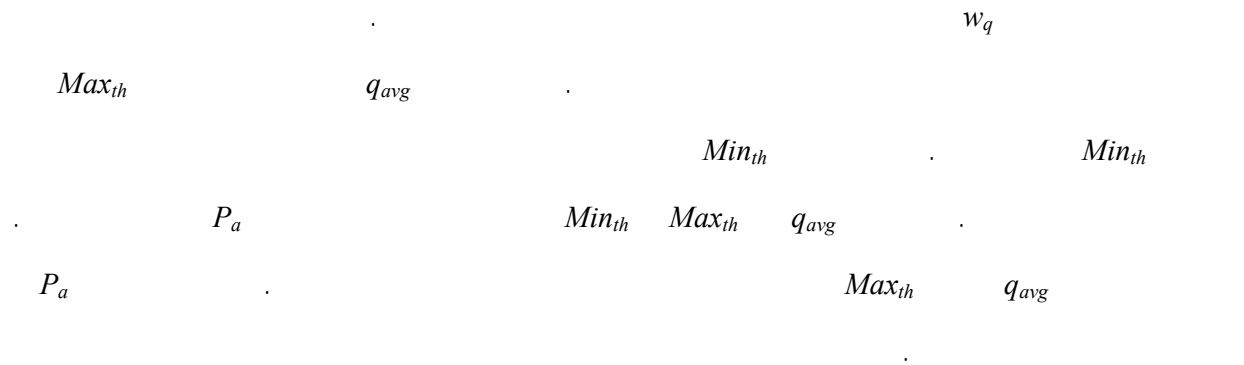
IETF

P_a



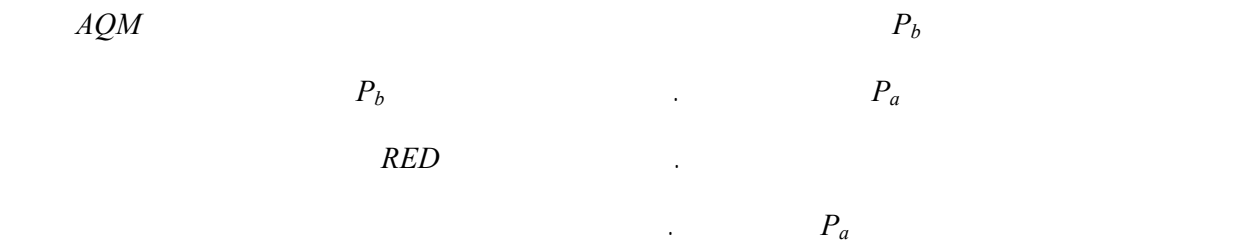
رابطه ۴-۲ محاسبه میانگین طول صف الگوریتم RED

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



رابطه ۴-۳ احتمال علامتگذاری بسته‌ها در الگوریتم RED

$$P_a = P_{max} \frac{q_{avg} - min_{th}}{max_{th} - min_{th}}$$



For Each Packet Arrival:

calculate the average queue size q_{avg}

if $min_{th} \leq q_{avg} \leq max_{th}$

calculate probability P_a

with Probability P_a : mark/drop the arriving packet

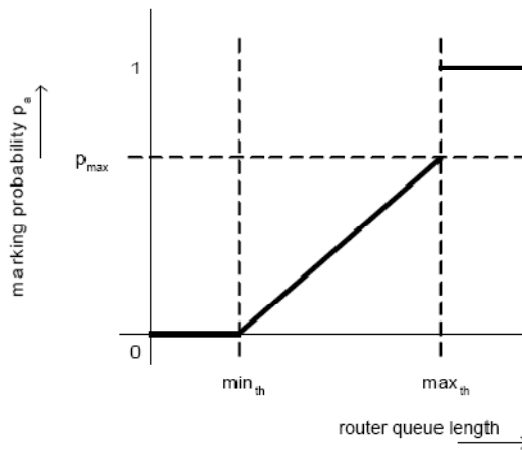
else if $max_{th} \leq q_{avg}$

mark/ drop the arriving packet

else

do not mark/ drop packet

شکل ۴-۱۲ شبه کد الگوریتم RED



شکل ۴-۱۳ احتمال علامتگذاری P_a در RED

TCP

RED

:

○

○

RED

○

TCP

○

TCP «

»

RED

○

[]

AQM

(ARED)

•
ARED

ARED

AQM

P

Upon every packet arrival

if (link_idle)

 reset link idle timer;

 link_idle = false;

if ($R > \mu$ // ($q_{avg} > L$ & $R > \rho \times \mu$))

 drop packet with probability P ;

 if (current_time - last_update > freeze_time)

$P = P + d_1$;

 last_update = current_time;

When link becomes idle:

 set link idle timer to freeze_time;

 link_idle = true;

When link idle timer expires:

$P = P - d_2$;

 set link idle to freeze_time;

شکل ۴-۱۴ شبه کد الگوریتم ARED

: ARED

(μ)

(R)

:

○

μ R

L

:

○

ρ

l

ρ

ARED

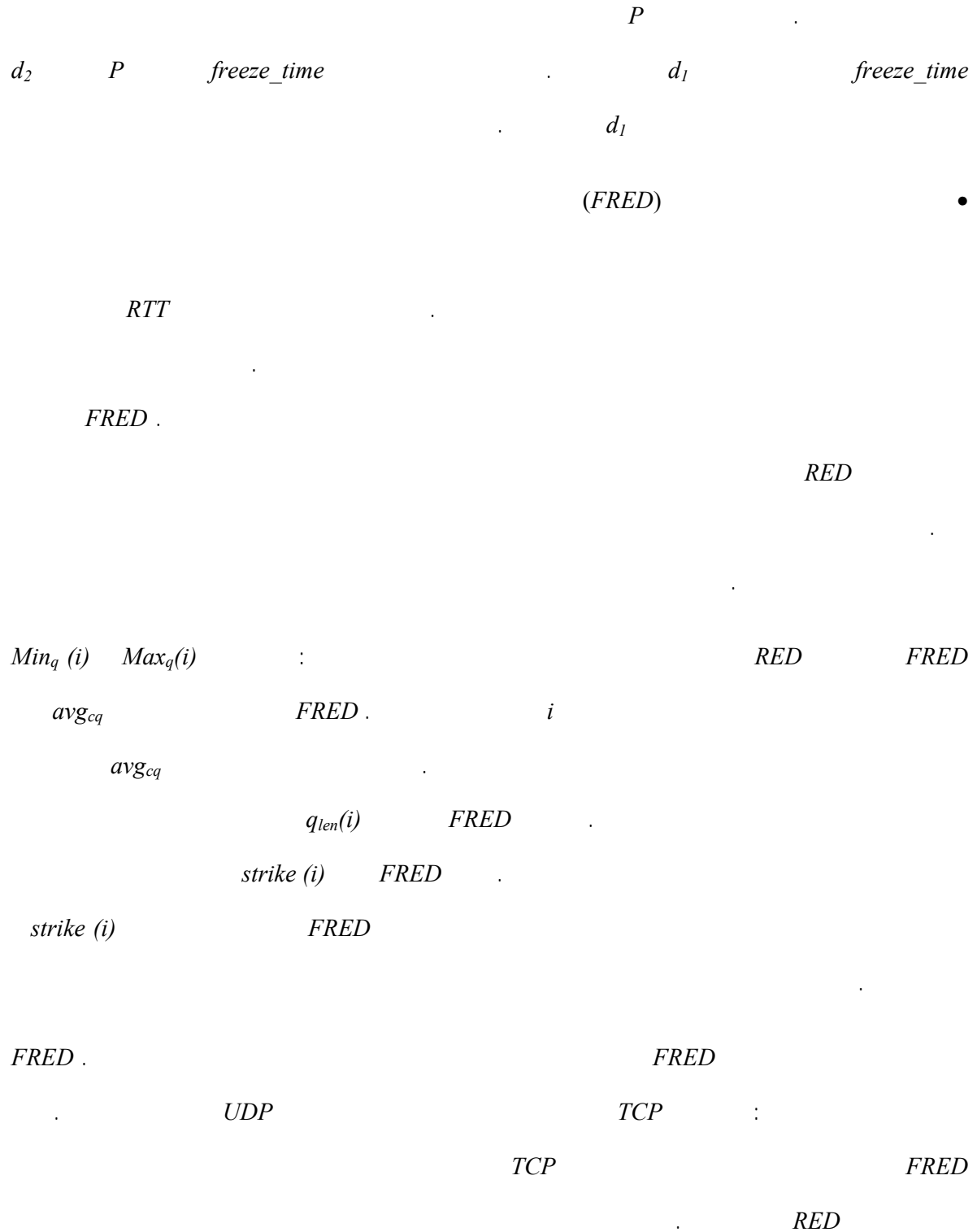
L

P

Average Rate Early Detection ^{۲۸۴}

Packet Enqueue Rate ^{۲۸۵}

Queue Occupancy ^{۲۸۶}



TCP

UDP

TCP

FRED

(SRED) RED •

TCP

SRED

« »

Count

()

: ()

:(Hit) ○

P :(No Hit) ○

SRED

Finite Zombie List ^{۲۹۰}
Time Stamp ^{۲۹۱}
Administrative ^{۲۹۲}
Zombie ^{۲۹۳}

P

RED

P

۴-۹-۴- الگوریتمهای مبتنی بر اتلاف بسته‌ها و توان عملیاتی خط

()

P

P

AQM

P

P_m

$BLUE$

« » $BLUE$

P_m

freeze_time
) « »
 ARED BLUE

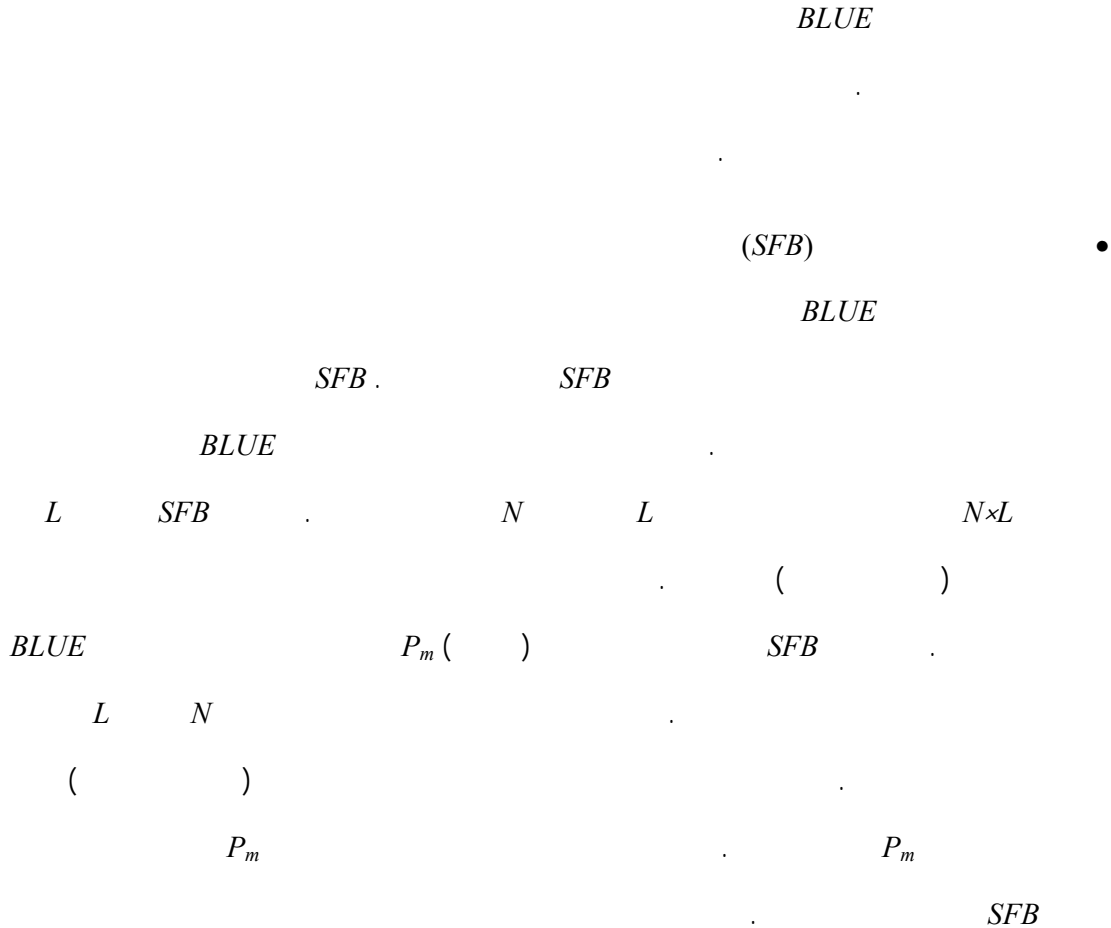
Upon packet loss event:

if ((now - last_update) > freeze_time)
 $P_m = P_m + d_1$
 last_update = now

Upon link idle event:

if ((now - last_update) > freeze_time)
 $P_m = P_m - d_1$
 last_update = now

شکل ۴-۱۵ شبیه کد الگوریتم BLUE



Define $B[L][N] = L \times N$ array of bins (L levels, N bins per level)

At Packet Arrival:

calculate hash function h_0, h_1, \dots, h_{L-1} ;

update q_{len} for each bin at each level;

for $i = 0$ to $L-1$

if ($B[i][h_i].q_{len} > bin_size$)

$B[i][h_i].P_m += delta$;

drop packet;

else if ($B[i][h_i].q_{len} == \emptyset$)

$B[i][h_i].P_m -= delta$;

$P_{min} = \min(B[0][h_0].P_m, \dots, B[L][h_L].P_m)$;

if ($P_{min} = 1$)

limit flow's sending rate;

else

mark/drop packet with probability P_{min} ;

شکل ۴-۱۶ شبه کد الگوریتم SFB

P_m

SFB

P_m

P_{min}

P_{min}

۴-۹-۵- الگوریتم‌های مبتنی بر کلاس

TCP

(UDP TCP)

(CBT)

UDP *TCP* : *CBT*
UDP *TCP*
TCP *UDP*
 « *CBT* »
RED *AQM*
UDP
 : *CBT*
UDP : *RED* *CBT* ○
RED
CBT *TCP*
RED
UPD *RED* *TCP* : *TCP* *RED* *CBT* ○
CBT»
TCP *RED* « *RED*
 () *UDP* «*TCP* *RED* *CBT*» .
 () *UDP*
 (*DCBT*) •
 « *RED* *CBT* » *DCBT*
UDP
 : *DCBT* *CBT*

○
○

RED *UDP*

CBT : *CBT* *DCBT*

DCBT ()

() *UDP* () *UDP*

DCBT

۴-۹-۶- الگوریتمهای مبتنی بر نظریه کنترل

« »

AQM

() *q_{ref}* •

() •

(*TCP*) •

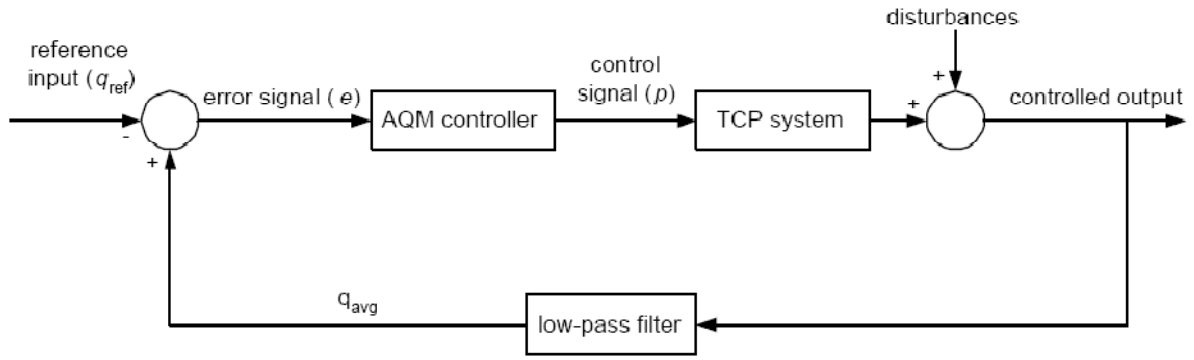
() *AQM* •

() •

q_{ref} *AQM*

q_{ref} () *P*

AQM



شکل ۴-۱۷ AQM و TCP به عنوان یک سیستم کنترلی حلقه بسته

(PI) PI PI
 (PI) TCP
 α (\quad)

رابطه ۴-۴ رابطه کنترل کننده تناسبی

$$p(n) = \alpha \cdot e(n)$$

n n $e(n)$
 (B) q_{ref}
 (\quad)
 α $e(n)/B$ $e(n)$
 (\quad)

AQM « »

PI

^{۳۰۸} PI Controller
^{۳۰۹} Proportional - Integral
^{۳۱۰} Steer
^{۳۱۱} Steady-State Regulation Error

رابطه ۴-۵ ساختار کلی یک *PI-controller*

$$p(n) = \alpha \cdot e(n) + \beta \cdot \int_0^n e(\tau) \cdot d\tau$$

$$\begin{array}{ccc}
 & & \beta \\
 & & \cdot \\
 & & \cdot \\
 T_1 & & \beta/T_1 \quad \beta \\
 & & \cdot \\
 & & PI
 \end{array}$$

رابطه ۴-۶ ساختار کلی یک *PD-Controller*

$$p(n) = p(n-1) + k \cdot e(n) + \lambda \cdot (e(n) - e(n-1))$$

PD

PI

رابطه ۴-۷ پیاده سازی دیجیتال یک *PI-Controller*

$$p(n) = p(n-1) + \alpha \cdot e(n) + \beta \cdot e(n-1)$$

$$\beta = \lambda \text{ و } \alpha = k + \lambda$$

$p(n-1)$

$e(n) \quad p(n)$

$q(n) \quad q(n)$

$q_{avg}(n)$

رابطه ۴-۸ استفاده از فیلتر پایین گذر برای محاسبه طول میانگین صف

$$q_{avg}(n) = (1 - \chi) \cdot q_{avg}(n-1) + \chi \cdot q(n)$$

χ

$e(n)$

رابطه ۴-۹ محاسبه سیگنال خطا به کمک طول صف میانگین فیلتر شده

$$e(n) = q_{avg}(n) - q_{ref}$$

»

«.

(DRED)

RED

()

RED

PI

DRED

TCP

$q(n)$

n

$$e(n) = q(n) - q_{ref}$$

رابطه ۴-۱۰ اعمال فیلتر پایین گذر به سیگنال خطای کنونی

$$\hat{e}(n) = (1 - \chi) \cdot \hat{e}(n - 1) + \chi \cdot e(n)$$

: $p(n)$

رابطه ۴-۱۱ محاسبه احتمال حذف بسته در DRED

$$p(n) = \min\{ \max\{p(n - 1) + \alpha \cdot \hat{e}(n), 0\}, p_{max} \}$$

$n+1$

$p(n)$

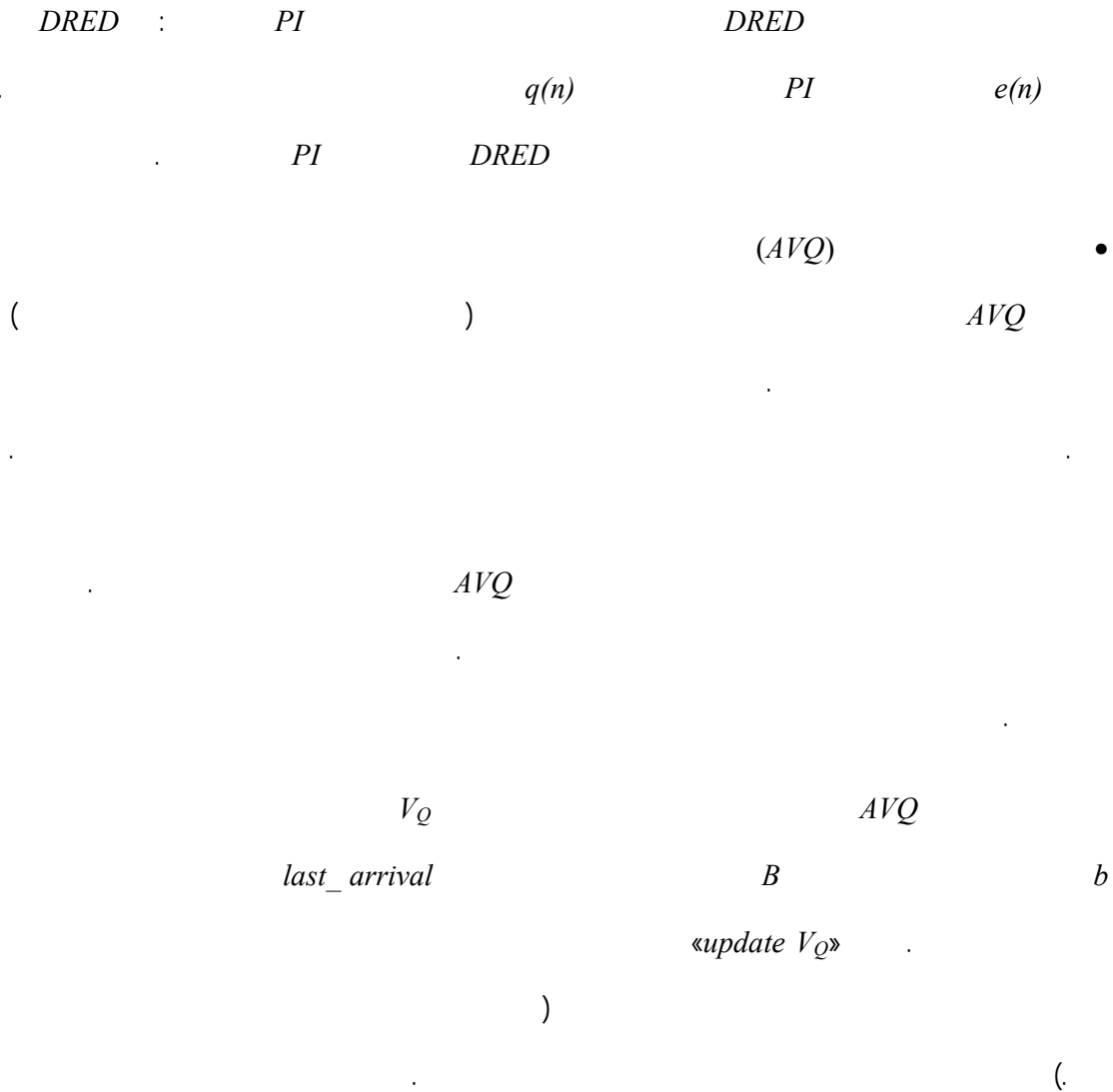
α

P_{max}

$\hat{e}(n)$

$p(n+1)$

DRED



At Each Packet Arival:
 update V_Q ;
 if ($V_Q + b > B$)
 mark packet in real queue;
 else
 $V_Q = V_Q + b$;
 update virtual_capacity;
 update last_arrival;

شکل ۴-۱۸ شبه کد الگوریتم AVQ

۴-۹-۷- الگوریتمهای کنشی

AQM

()

RED

t

|

(*GREEN*)

TCP

GREEN

TCP

BW

رابطه ۴-۱۲ تقریب پهنایی باند یک اتصال *TCP*

$$BW = \frac{Miss \times C}{RTT \times \sqrt{P}}$$

C

C

P

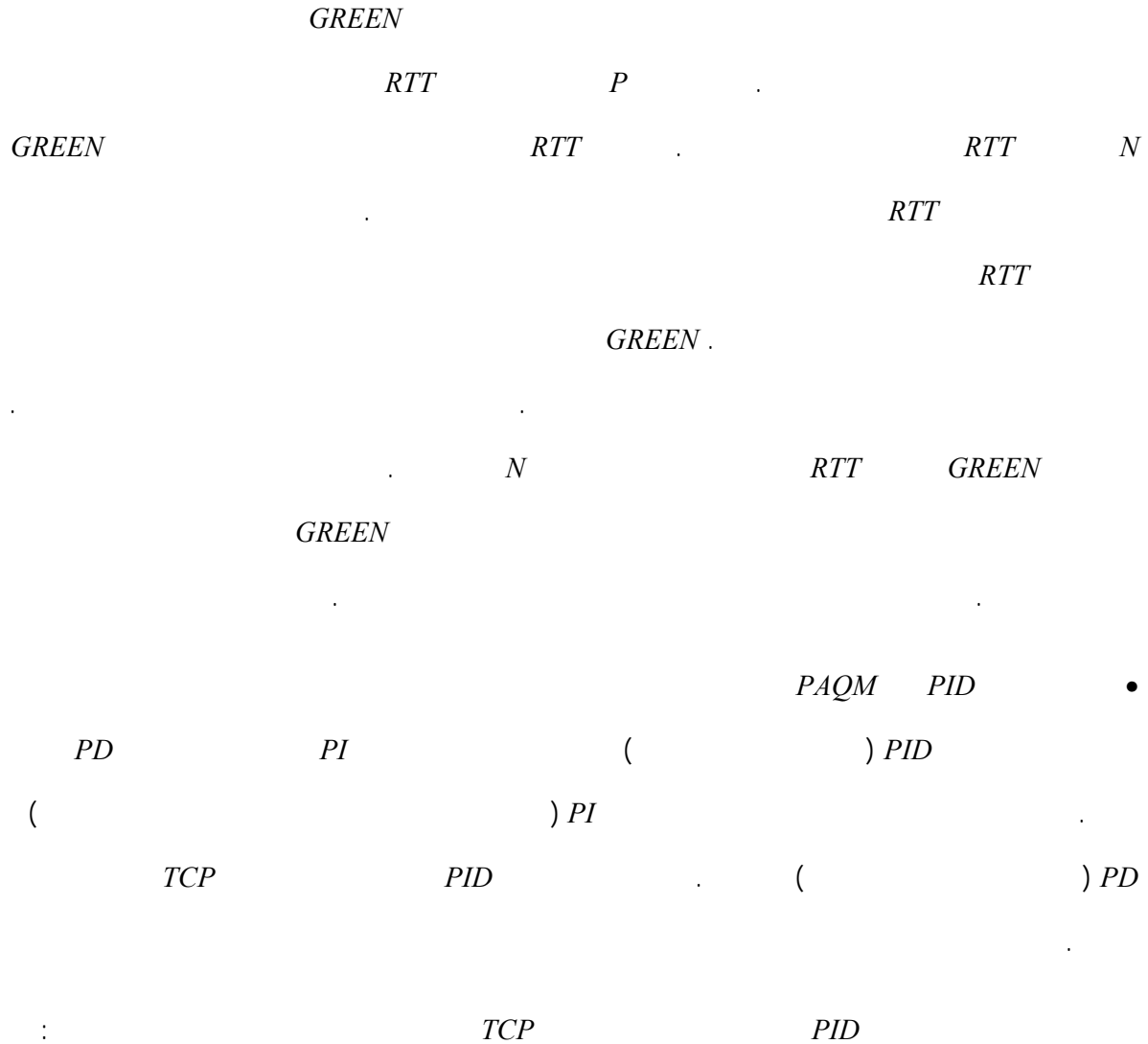
N

L/N

L

رابطه ۴-۱۳ احتمال اتلاف بسته‌ها در خط *L* با *N* جریان

$$P = \left(\frac{N \times Miss \times C}{L \times RTT} \right)^2$$



شکل ۴-۱۴ معادله عمومی کنترل PID

$$p(n) = \alpha \cdot e(n) + \beta \cdot \int_0^n e(\tau) \cdot d\tau + \gamma \frac{d}{dn} e(n)$$

» PAQM PID
)

«
(TCP

AQM

RED

« »

۴-۹-۸- خلاصه‌ای از ویژگی الگوریتمها

		✓	<i>RED</i>	مدیریت صف
<i>TCP</i>		✓		مبتنی بر
		✓		میانگین طول
		✓	<i>ARED</i>	
		✓	<i>FRED</i>	صف
←		✓		
		✓		
		✓	<i>SRED</i>	
		✓		
	←	✓	<i>CHOKe</i>	
		✓		
		✓	<i>BLUE</i>	
		✓		
←		✓	<i>SFB</i>	مدیریت صف
		✓		مبتنی بر ائتلاف
	←	✓		بسته‌ها و توان
		✓		عملیاتی خط
	<i>UDP TCP</i>	✓	<i>CBT</i>	مدیریت صف
	<i>UDP TCP</i>	✓		مبتنی بر کلاس
← <i>UDP</i>		✓		
	<i>TCP</i>			

«TCP RED CBT» «	RED CBT» :	✓		مدیریت صف مبتنی بر نظریه کنترل
	RED CBT	✓	DCBT	
		✓		
	UDP	✓		
	CBT	✓		
		✓	PI-	
		✓	Controller	
	← RED	✓	DRED	
TCP		✓		
		✓	AVQ	
		✓		
		✓		
		✓		
TCP		✓	GREEN	مدیریت صف کنشی
		✓		
		✓		
		✓		
		✓		
	PD PI	✓	PID-	
		✓	Controller	
TCP	PID	✓	PAQM	
		✓		

شکل ۴-۱۹ خلاصه ویژگیهای الگوریتمهای AQM

[بررسی الگوریتم RED]

۱. مقدمه
۲. پیشینه کنترل ازدحام تا قبل از RED
۳. اهداف طراحی RED
۴. الگوریتم RED
۵. شبیه‌سازی
۶. محاسبه متوسط طول صف
۷. محاسبه احتمال علامتگذاری بسته
۸. ارزیابی الگوریتم RED

« »

*DECbit**DECbit**RED**TCP/ IP**RED**DECbit**RED*

Throughput^{۳۲۳}
Connection per State^{۳۲۴}
End to End^{۳۲۵}
Propagation Delay^{۳۲۶}
Gateway^{۳۲۷}
Explicit Feedback^{۳۲۸}

« »

*DECbit**RED**RED**RED**RED**RED*

.[]

*TCP/IP*۵-۲- پیشینه کنترل ازدحام تا قبل از *RED*

[11]

[]

Slow-Start^{۳۲۹}
Packet Header^{۳۳۰}
Random Drop^{۳۳۱}
Tail Drop^{۳۳۲}
Random Early Drop^{۳۳۳}
Level Drop^{۳۳۴}

[]

DECbit

DECbit

(+)

« »

DECbit RED

RED

RED

DECbit

RED

DECbit RED

DECbit

DECbit

RED

()

TCP

IP Source Quench Message^{۳۳۰}

Busy + Idle^{۳۳۱}

Roundtrip Time^{۳۳۲}

[25]

*LT**UT**LT**UT*۵-۳- اهداف طراحی *RED**RED*

()

*RED**TCP/IP**RED**UT***۵-۴- الگوریتم RED***RED**RED**Min_{th} Max_{th}**RED**Max_{th}**p_a**Max_{th} Min_{th}*Exponential Weighted Moving Average^{۳۳۸}

p_a

RED

*For each packet arrival:**calculate the average queue size avg**if $min_{th} \leq avg < max_{th}$* *calculate probability p_a* *mark the arriving packet with probability p_a* *else if $max_{th} \leq avg$* *mark the arriving packet*

شکل ۵-۱ شبه کد الگوریتم RED

RED

 m : m Max_p P_b Max_{th} Min_{th} avg

رابطه ۵-۱ احتمال علامتگذاری بسته‌ها در RED

$$p_b = max_p \times \frac{avg - min_{th}}{max_{th} - min_{th}}$$

$$p_a = \frac{p_b}{1 - count \times p_b}$$

 W_q

۵-۵- شبیه‌سازی

Real

(1000-byte)

FTP

Idle Period^{۳۳۹}

	FIFO	ACK	Sink
$f(t)$	W_q	count	q_time
			t

Initialization:

$avg \leftarrow 0$

$count \leftarrow -1$

For each packet arrival:

calculate the new average queue size avg:

if the queue is nonempty

$avg \leftarrow (1-w_q).avg + w_q.q$

else

$m \leftarrow f(\text{time} - q_time)$

$avg \leftarrow (1 - w_q)^m . avg$

if $min_{th} \leq avg < max_{th}$

increment count

calculate probability p_a :

$p_b \leftarrow \max_p (avg - min_{th}) / (max_{th} - min_{th})$

$p_a \leftarrow p_b / (1 - count.p_b)$

with probability p_a :

mark the arriving packet

$count \leftarrow 0$

else if $max_{th} \leq avg$

mark the arriving packet

$count \leftarrow 0$

else

$count \leftarrow -1$

When queue becomes empty

$q_time \leftarrow \text{time}$

شکل ۵-۲ شبیه‌سازی الگوریتم RED

Tahoe BSD TCP - 4.3

Sink

« »

« »

« »

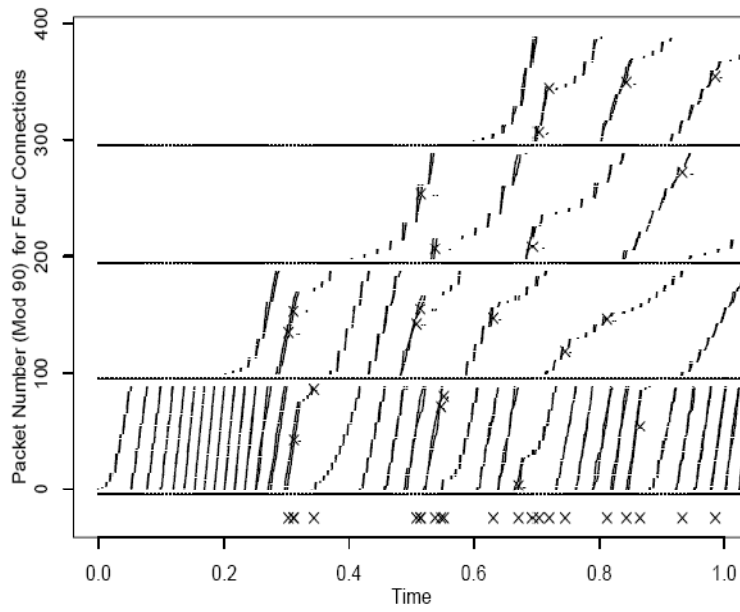
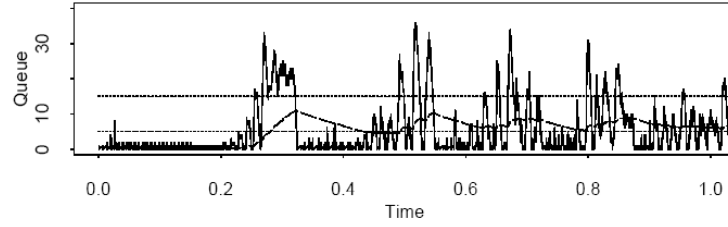
« »

Tahoe BSD TCP - 4.3

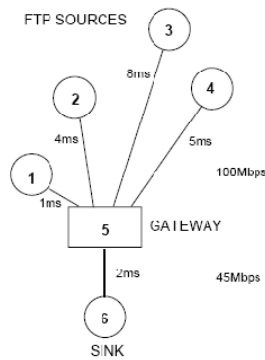
« »

RED

FTP



شکل ۳-۵ یک شبیه‌سازی با چهار اتصال FTP با زمانهای شروع نابرابر



شکل ۴-۵ شبکه شبیه‌سازی شده

$$Max_p = 1/50 \quad Max_{th} = 15 \quad Min_{th} = 5 \quad W_q = 0.002 :$$

RED

RED

x

i

n

y

X

$n \bmod 90 + (i-1).100 y$

0.6

0.4

0.2

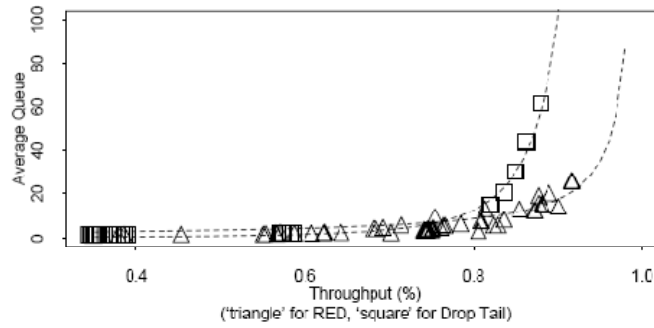
q

avg

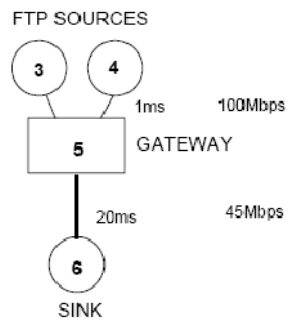
$Min_{th} \quad Max_{th}$

RED

X



شکل ۵-۵ مقایسه گذرگاههای RED و قطع دنباله



شکل ۵-۶ شبکه شبیه سازی شده

TCP



۵-۶- محاسبه متوسط طول صف

RED

(EWMA)

رابطه ۵-۲ محاسبه متوسط طول صف در RED

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

 W_q W_q ۵-۶-۱ یک حد بالا برای W_q W_q L L : avg_L رابطه ۵-۳ محاسبات برای حد بالای W_q

$$avg = \sum_{i=1}^L i \cdot w_q (1 - w_q)^{L-i} = w_q (1 - w_q)^L \sum_{i=1}^L i \left(\frac{1}{1 - w_q} \right)^i = L + 1 + \frac{(1 - w_q)^{L+1} - 1}{w_q}$$

$$\sum_{i=1}^L i \cdot x^i = \frac{x + (L \cdot x - L - 1) \cdot x^{L+1}}{(1 - x)^2}$$

L W_q x L W_q

$$W_q = 0.001$$

 L y

$$avg_{100} = 4.88$$

W_q L Min_{th}

$$: \quad avg_L < min_{th}$$

رابطه ۴-۵ محاسبه W_q برای پذیرش ترافیک رگباری به طول L

$$L + 1 + \frac{(1 - w_q)^{L+1} - 1}{w_q} < min_{th}$$

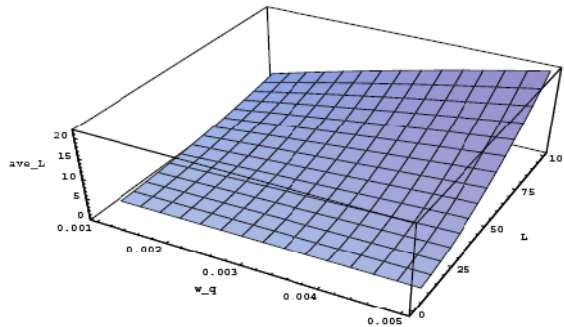
$$. \quad W_q \leq 0.0042 \quad L=50 \quad min_{th}=5$$

یک حد پائین برای W_q -۲-۶-۵

 W_q

RED

avg



شکل ۵-۷ به عنوان تابعی از W_q و L

تنظیم کردن Min_{th} و Max_{th} -۳-۶-۵

 $Min_{th} \quad Max_{th}$ Min_{th} $Min_{th} \quad Max_{th}$

RED

 Min_{th} Max_{th}

۵-۷- محاسبه احتمال علامتگذاری بسته

 p_b

:

$$p_b = \max_p \times \frac{avg - min_{th}}{\max_{th} - min_{th}}$$

 p_b Max_p X p_b

:

 p_b

$$Prob[X = n] = (1 - p_b)^{n-1} \times p_b$$

$$E[X] = 1/p_b$$

 X

$$p_b / (1 - count \cdot p_b)$$

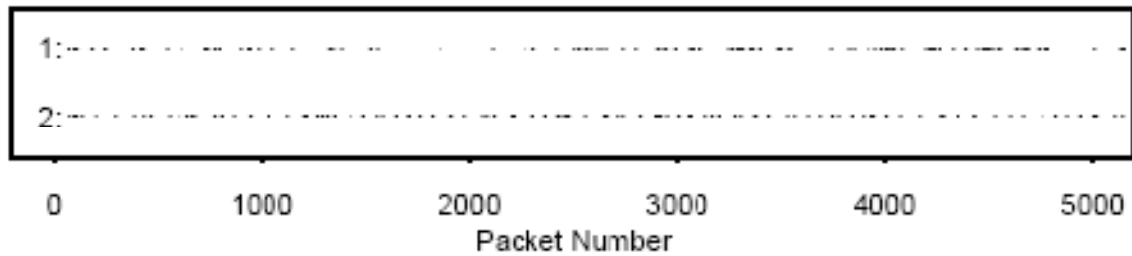
 X

:

$$Prob[X = n] = \begin{cases} \frac{p_b}{1 - (n-1) \cdot p_b} \prod_{i=0}^{n-2} \left(1 - \frac{p_b}{1 - i \cdot p_b}\right) = p_b & , 1 \leq n \leq \frac{1}{p_b} \\ 0 & , n > \frac{1}{p_b} \end{cases}$$

$$E[X] = (p_b + 1) / 2p_b \quad X$$

x



شکل ۵-۸ مقایسه دو روش علامتگذاری بسته‌ها

۵-۸-۸ - ارزیابی الگوریتم RED

۵-۸-۱ - اهداف RED

RED

RED UT

RED

EWMA W_q

RED

RED

•

RED

•

RED

•

RED

RED

RED

TCP/IP

TCP

TCP

ACK

RED

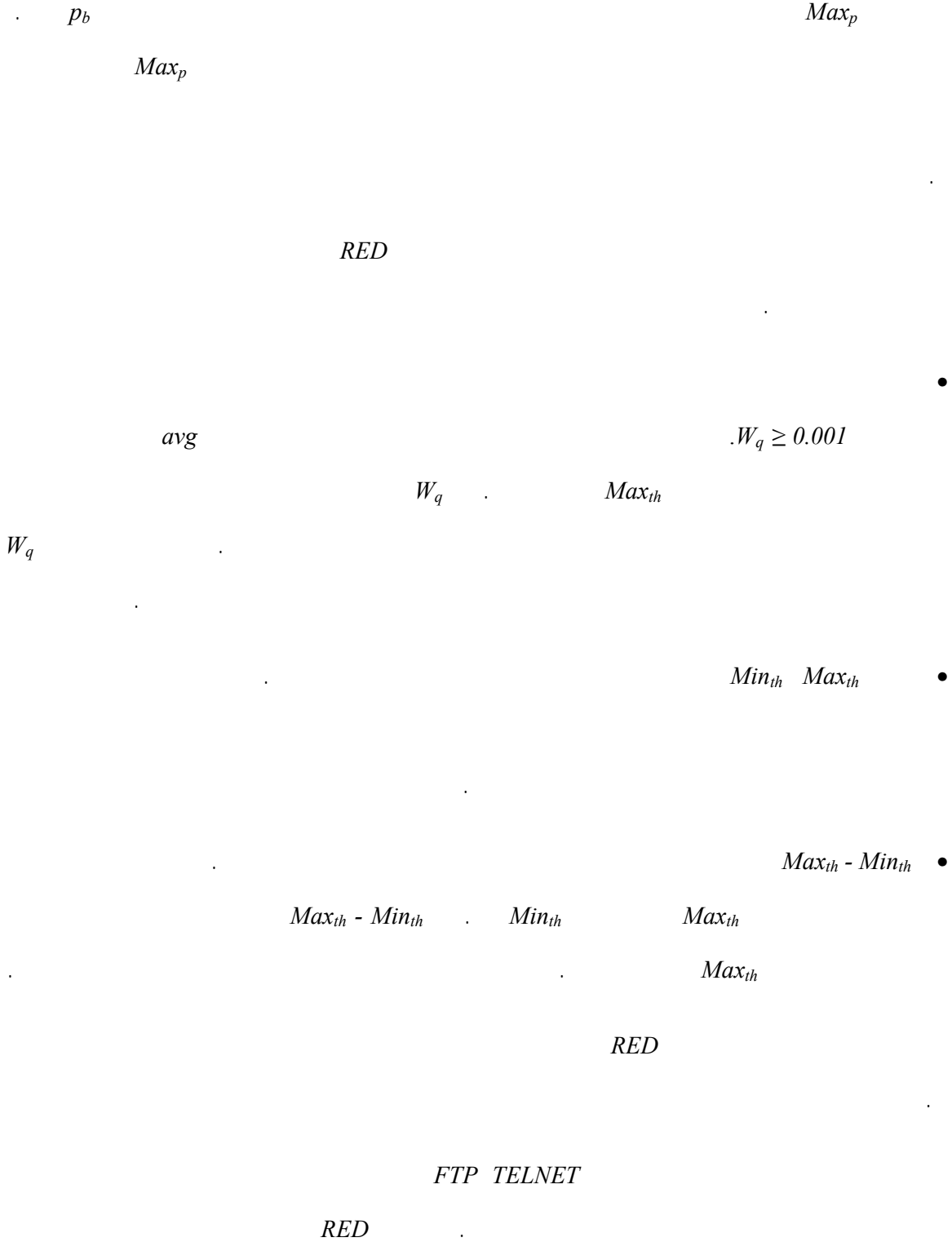
TCP

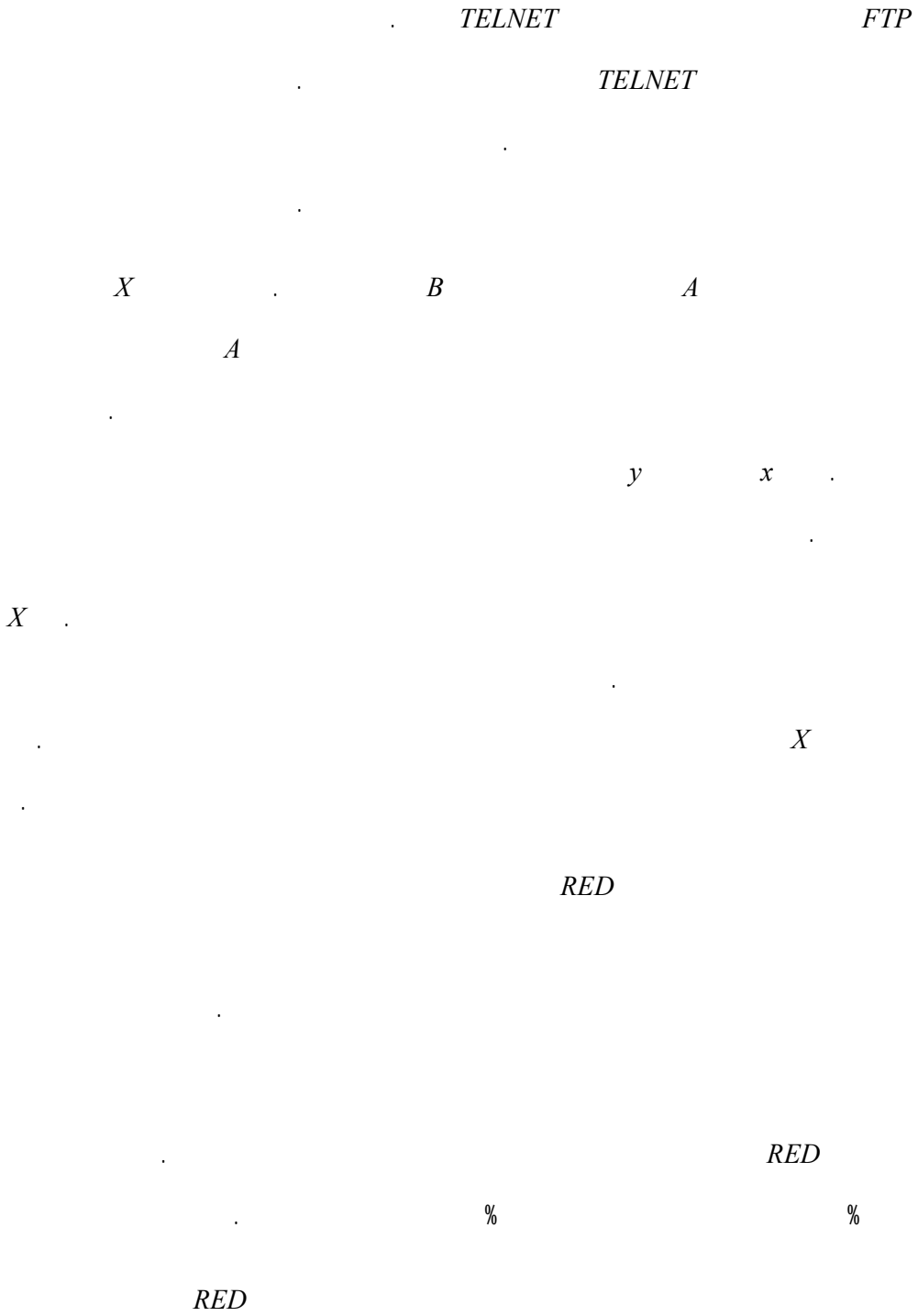
RED

حساسیت پارامترها ۵-۸-۲-

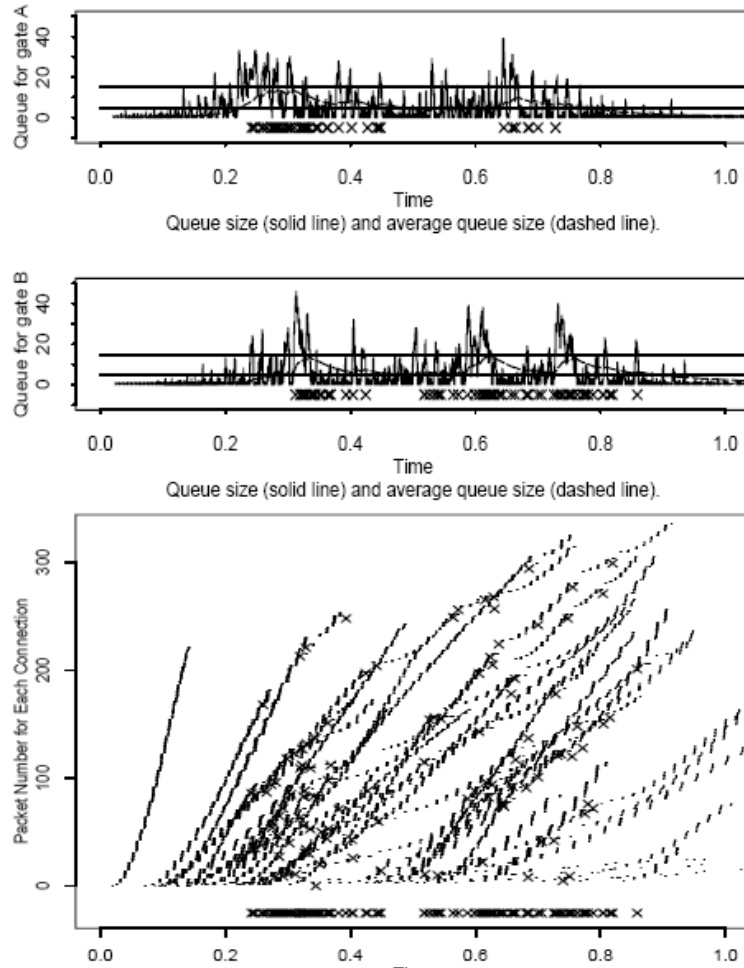
RED

W_q Min_{th} Max_{th} *RED*

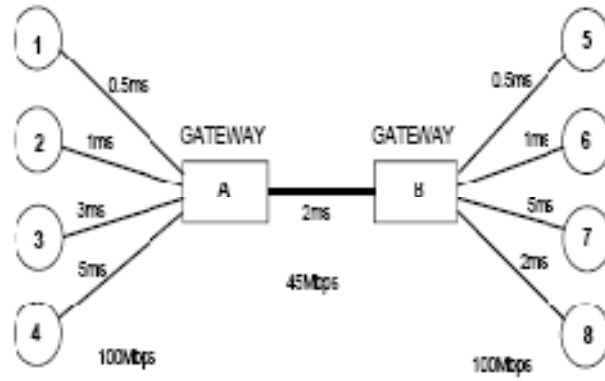




RED



شکل ۵-۹ شبیه‌سازی گذرگاه RED با ازدحام بالا، ترافیک دوسویه، و اتصالات متعدد FTP و TELNET کوتاه



شکل ۵-۱۰ شبکه ای با تعداد زیادی اتصالات کوتاه

[پیاده سازی و شبیه سازی]

۱. مقدمه
۲. طراحی یادگیری Q فازی
۳. پارامترهای مهم الگوریتم RED
۴. تنظیم پارامترهای الگوریتم RED با یادگیری Q فازی
۵. سناریوی شبیه سازی
۶. آزمایشها

RED

RED

RED

TCP

RED

RED

RED

:

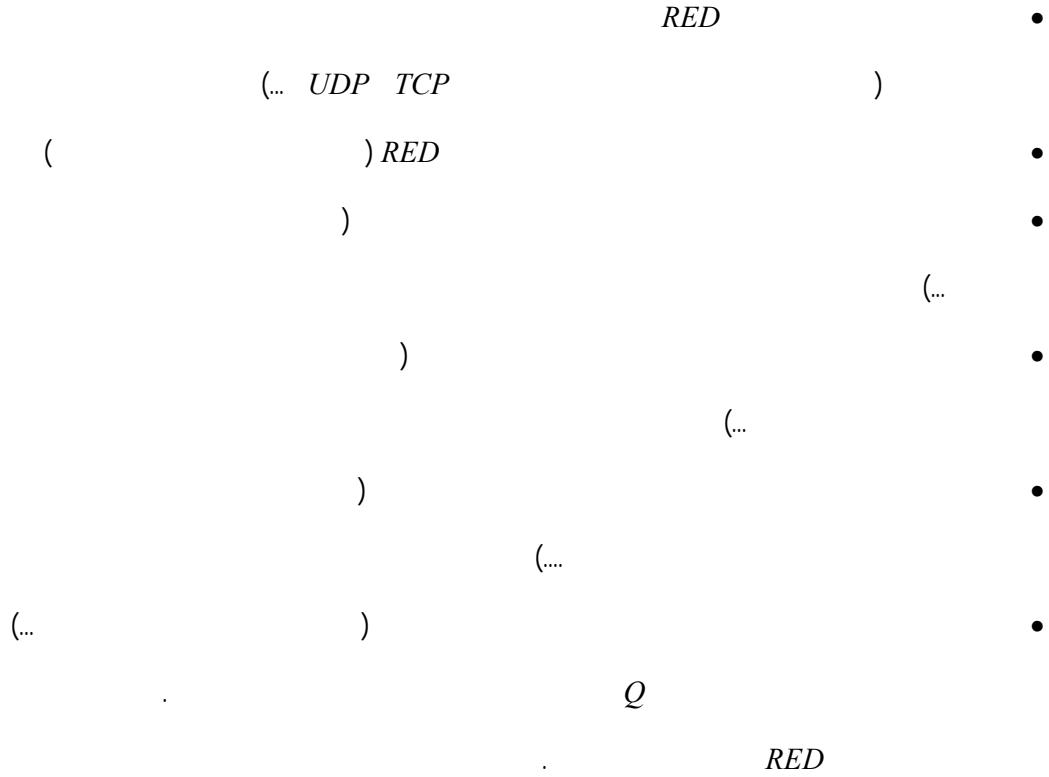
(...)

)

(...

) *RED*

(



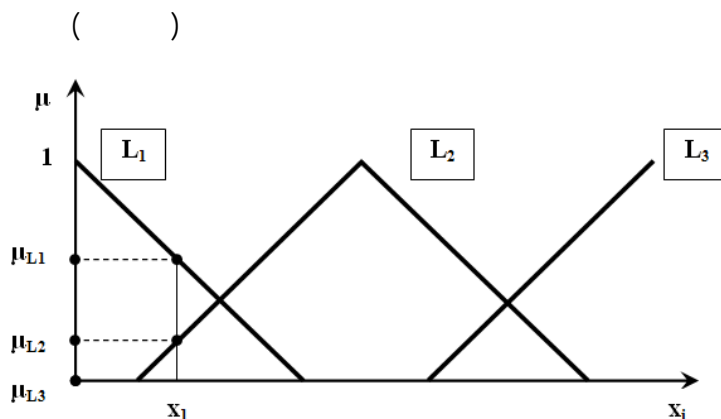
۲-۶- طراحی یادگیری Q فازی

۲-۶-۱- لایه ورودی^{۳۴۸}

$$X_{t+1}(x_1, x_2, \dots, x_n)$$

$$X_{t+1}$$

$$L_{t+1}$$



شکل ۱-۶ فازی سازی مثلثی یک ورودی نمونه

۲-۲-۶- لایه فازی سازی^{۳۴۹}

$$L_{t+1}([L_1^1, L_1^2, \dots, L_1^{m_1}], [L_2^1, L_2^2, \dots, L_2^{m_2}], \dots, [L_n^1, L_n^2, \dots, L_n^{m_n}]) \quad L_{t+1}$$

$$R_{t+1}$$

$$\alpha_{R_i} \quad [0, m_i) \quad i \quad n$$

۳-۲-۶- لایه ارزیابی قانون^{۳۵۱}

$$R_{t+1}(\alpha_{R_1}, \alpha_{R_2}, \dots, \alpha_{R_k}) \quad R_{t+1}$$

$$W_t$$

۴-۲-۶- مقدار بهینه Q^{۳۵۲}

$$R_{t+1}$$

$$Q_t^*$$

$$Q^*(X_t) = \frac{\sum_{R_i \in A(X_t)} \alpha_{R_i}(X_t) \times \left[\max_{a \in U^i} w_t^i(a) \right]}{\sum_{R_i \in A(X_t)} \alpha_{R_i}(X_t)}$$

۵-۲-۶- مقدار تخمینی Q^{۳۵۳}

Fuzzification Layer^{۳۴۹}

Counter^{۳۵۰}

Rule Evaluation Layer^{۳۵۱}

Optimal Q^{۳۵۲}

X_t و U_t

$\sim Q_t$

$$\tilde{Q}_t(X, U_t(X_t)) = \frac{\sum_{R_i \in A(X_t)} \alpha_{R_i}(X_t) \times w_t^i(U_t^i)}{\sum_{R_i \in A(X_t)} \alpha_{R_i}(X_t)}$$

۶-۲-۶- محاسبه خطا ^{۳۵۴}

R_{t+1}

$\sim \varepsilon_{t+1}$

$$\tilde{\varepsilon}_{t+1} = r_{t+1} + \gamma \times Q_t^*(X_{t+1}) - \tilde{Q}_t(X, U_t(X_t))$$

۶-۲-۷- اکتشاف ^{۳۵۵}

W_{t+1}

EE_{t+1}

$$EE(a) = w_t^i(a) + \frac{\theta}{e^{n_t(a)}}, \theta > 0$$

۶-۲-۸- انتخاب حریصانه ε ^{۳۵۶}

EE_{t+1}

M_{t+1}

$$U_t^i = U^i(k) \mid EE(U^i(k)) = \max_{a \in U^i} EE(a)$$

۶-۲-۹- بروزرسانی $TD(0)$ ^{۳۵۷}

$X_{t+1}(x_1, x_2, \dots, x_n)$

$\sim \varepsilon_{t+1}$

W_{t+1}

Estimated Q ^{۳۵۳}
 Error Calculation ^{۳۵۴}
 Exploration ^{۳۵۵}
 ε -Greedy ^{۳۵۶}
 TD(0) Update ^{۳۵۷}

$$w_{t+1} = w_t + \tilde{\varepsilon}_{t+1} \times e_t^a$$

M

۱۰-۲-۶- انتخاب حریصانه مضاعف^{۳۵۸}

R_{t+1} و M_{t+1}

U_{t+1}

$$U_t(X_t) = U_t^{i*} \mid EE(U_t^{i*}) \times \alpha_{R_t^*}(X_t)$$

۱۱-۲-۶- سناریوی FQL

No	Phase	Input	Output
1.	Estimated Q	U_t, X_t	$\rightarrow \sim Q_t$
2.	Input Layer	X_{t+1}	$\rightarrow L_{t+1}$
3.	Fuzzification Layer	L_{t+1}	$\rightarrow R_{t+1}$
4.	Rule Evaluation Layer	R_{t+1}	$\rightarrow W_{t+1}$
5.	Optimal Q	R_{t+1}	$\rightarrow Q_t^*$
6.	Error Calculation	$Q_t^*, \sim Q_t, r_{t+1}$	$\rightarrow \sim \varepsilon_{t+1}$
7.	TD(0) Update	$\sim \varepsilon_{t+1}$	$\rightarrow W_{t+1}$
8.	Exploration	W_{t+1}	$\rightarrow EE_{t+1}$
9.	E-Greedy	EE_{t+1}	$\rightarrow M_{t+1}$
10.	Final Action Greedy	M_{t+1}, R_{t+1}	$\rightarrow U_{t+1}$

شکل ۶-۲ سناریوی FQL

۱۲-۲-۶- ساختمان داده FQL

:	FQL		
		$X[n] :$	n •
	$L[n][\max(m_i)] :$		$n \times m_{i_{\max}}$ •
		$R[k] :$	k •

$W[k] [\#actions] : Q$ Q $k \times \#actions$ •

Q

$TS-FIS$

FQL

FQL

Q

(

$EE[\#actions] :$

Q

$\#actions$

•

$M[k] : TD(0)$

ϵ Greedy

k

•

$k \times \#actions$

•

$C[k][\#actions]$

۳-۶- پارامترهای مهم الگوریتم RED

RED

RED

Min_{th} Max_{th}

Max_{th}

Min_{th} Max_{th}

RED

P_a

p_a

RED

m

m

RED

()

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

W_q

W_q

RED

W_q

W_q

Min_{th} Max_{th}

RED

Min_{th}

Min_{th} Max_{th}

Min_{th}

Max_{th}

RED

Max_{th}

RED

EWMA

W_q

p_b

()

$$p_b = max_p \times \frac{avg - min_{th}}{max_{th} - min_{th}}$$

X

p_b

Max_p

$$Count \quad p_a = p_b / (1 - Count \cdot p_b)$$

Max_{th} Min_{th} Avg

() Max_p p_b

$$p_a = \frac{p_b}{1 - count \times p_b}$$

: RED

W_q Min_{th} Max_{th} RED

Max_p

Max_p

p_b

RED

$W_q \geq 0.001$

W_q

Max_{th}

Avg

W_q

Min_{th} Max_{th}

Min_{th} Max_{th}

$Max_{th} - Min_{th}$

Min_{th}

Max_{th}

Underutilized^{۳۶}

					Max_{th}
	%			Max_{th}	RED
TCP					
			N		RED
	N		Max_p		$SRED$ $ARED$
	[]		Max_{th}	Max_p	FPQ

رابطه ۶-۱ وابستگی RED به تعداد اتصالات فعال TCP و سایر پارامترهایش

$$q_a = \frac{0.91 \times N^{2/3} \times max_{th}^{1/3}}{max_p^{1/3}} = 0.91 \times N^{2/3} \times \left(\frac{max_{th}}{max_p} \right)^{1/3}$$

RED

۶-۴- تنظیم پارامترهای الگوریتم RED با یادگیری Q فازی

Q

$FQL-RED$

RED

RED

FQL

$FQL-RED$

RED

)

RED

$$W_q \geq 0.001$$

FQL

w

API

$$W_q \text{ Max}_p \text{ Max}_{th} \text{ Min}_{th}$$

Q

Q

Q

If-Then

T-norm

TS-FIS

-

-

<

>

= * * * *

...

رابطه ۶-۲ نحوه ترکیب شدن بخشهای مختلف سیگنال تقویت در FQL-RED

$$R_T = c_1 \cdot R_1 + c_2 \cdot R_2 + c_3 \cdot R_3 + c_4 \cdot R_4 + c_5 \cdot R_5$$

:

Min_{th}

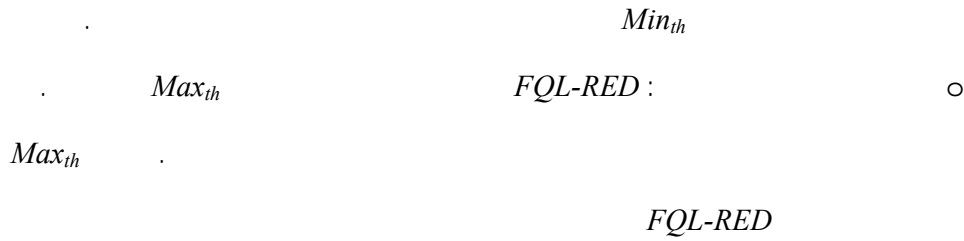
Max_{th}

$:Max_{th} Min_{th}$

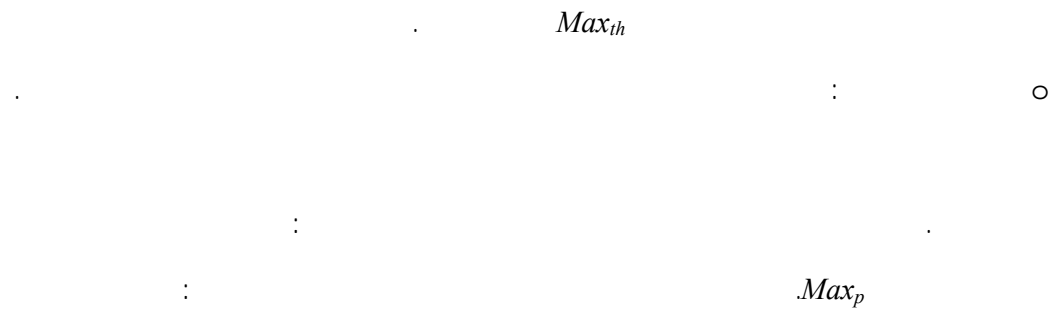
○

:

$$R_1 = 1 - \frac{|max_{th} - 2min_{th}|}{min_{th}}$$



$$R_2 = 1 - \frac{|max_{th} - q|}{B}$$



$$R_3 = 1 - \frac{\text{packets dropped}}{\text{packet received}}$$

$$R_4 = \frac{\text{packets sent}}{\text{packet received}}$$

FQL-RED :

(d)

$$R_5 = 1 - \frac{d_{new}}{d_{old} + d_{new}} = \begin{cases} \frac{d_{old}}{d_{old} + d_{new}} & , d_{old} + d_{new} \neq 0 \\ 1 & , d_{old} + d_{new} = 0 \end{cases}$$

Q

Q

()

TD

Q

Q

TS-FIS

() TD(0)

FQL-RED

(θ)

$$(Max_{th} - Min_{th} \geq 10)$$

$TD(0)$

Q

$FQL-RED$

: No-Operation ○

()

Min_{th} : ↓↑ Min_{th} ○

$$0 < Min_{th} \leq Max_{th} - 10$$

Max_{th} : ↓↑ Max_{th} ○

$$Min_{th} + 10 \leq Max_{th} \leq Buffer\ Size$$

Max_p : ↓↑ $Mark_d$ ○

$$Max_p = 1 / Mark_d$$

$$0\% \leq Max_{th} \leq 100\%$$

$$W_q = (1/2)^{Exp_w}$$

$$W_q$$

$$0 \leq Exp_w \leq 10$$

Mark_d

Exp_w : ↓ ↑ Exp_w ○

FQL-RED

For each packet arrival:

- gather information from environment
- fuzzify the inputs and create rule base
- explore actions to find potential best actions
- find best action due to learnt traffic model
- update Q-learning tables
- change none, min_{th} , max_{th} , max_p , or w_q with the chosen action
- calculate the average queue size avg
- if $min_{th} \leq avg < max_{th}$
 - calculate probability p_a
 - mark the arriving packet with probability p_a
- else if $max_{th} \leq avg$
 - mark the arriving packet

شکل ۳-۶ الگوریتم FQL-RED

۵-۶- سناریوی شبیه‌سازی

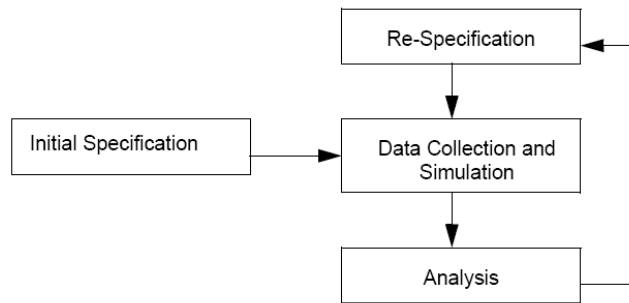
OPNet

OPNet

۵-۶-۱ معماری OPNet

OPNet

Re-Specification



شکل ۶-۴ چرخه پروژه شبیه‌سازی

۶-۵-۲- مشخصات مدلسازی شبکه

OPNet

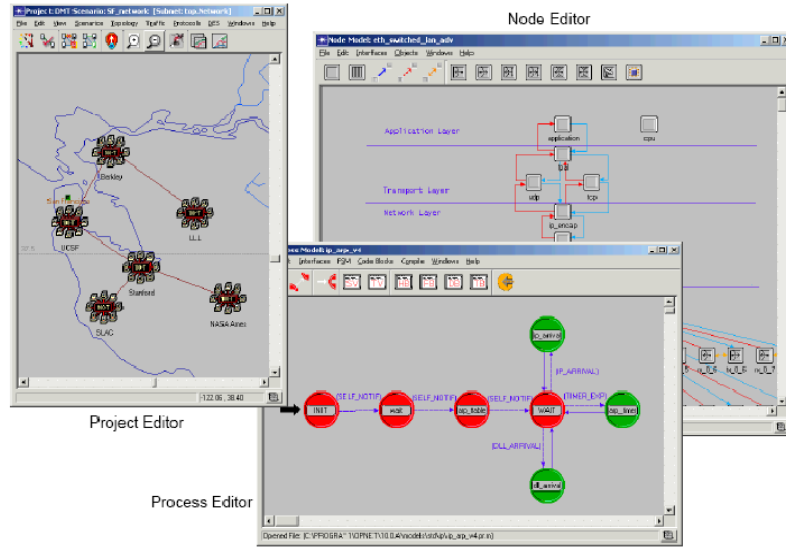
()

:

:

Specification^{۳۶۵}
Editor^{۳۶۶}
Project Editor^{۳۶۷}
Node Editor^{۳۶۸}
Process Editor^{۳۶۹}

Figure 1-2 Graphical Editors for Network, Node, and Process Models

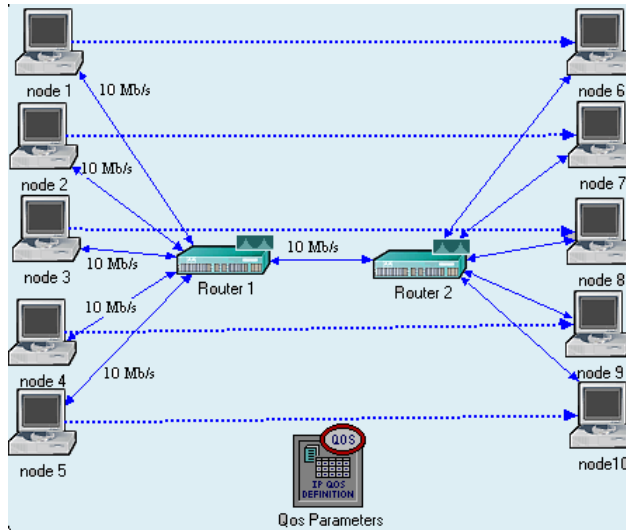


شکل ۶-۵ ویرایشگر گرافیکی برای مدل‌های شبکه، گره و فرآیند

شبکه	
گره	
فرآیند	FSM ()

جدول ۶-۶ دامنه‌های مدل سازی OPNet

۶-۵-۳- پیکر بندی شبکه مورد مطالعه



شکل ۶-۷ پیکر بندی شبکه مورد مطالعه (سناریوی پروانه)

TCP

FIFO

QoS

RIP

FQL-RED

FQL-RED []

FQL-RED	پارامترها	مقادیر
	Minimum Threshold (min_{th})	۱۵
	Maximum Threshold (max_{th})	۳۰
	Maximum value for P_b (max_p)	۵۰
	Queue Weight (w_q)	۰/۵
	Buffer size (B)	۱۰۰

شکل ۶-۸ پارامترهای FQL-RED

۶-۶- آزمایشها

Drop Tail RED

FQL-RED

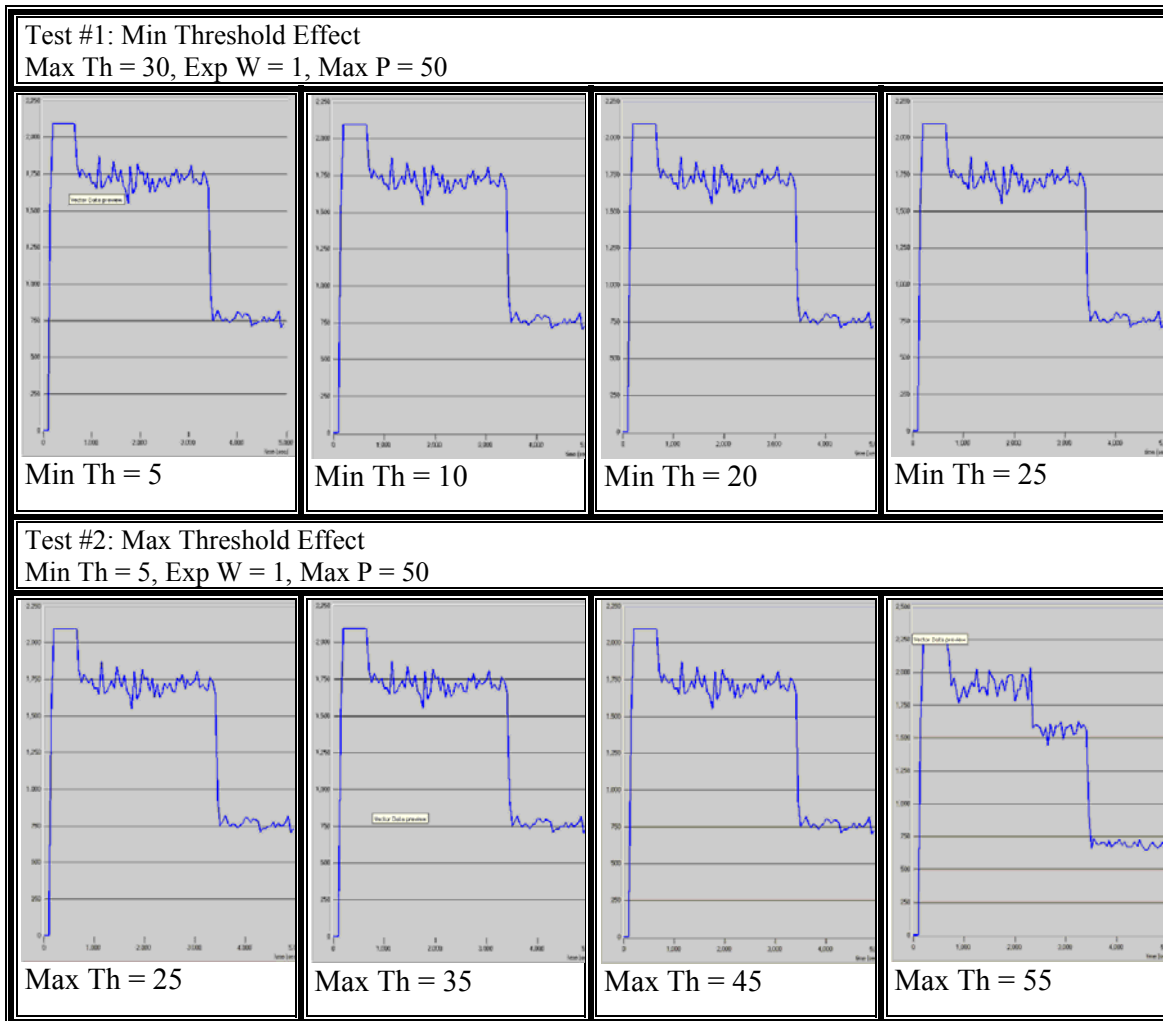
RED

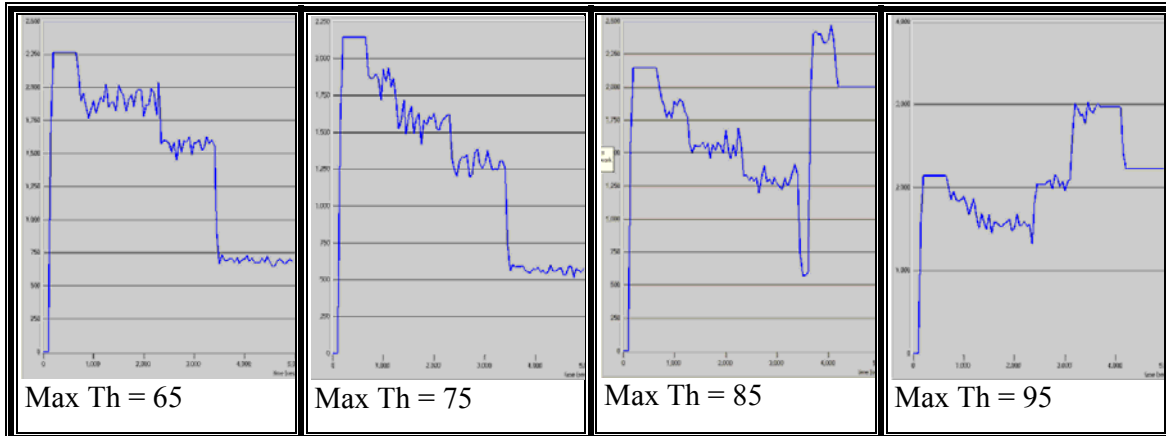
() RED FQL-RED

6-6-1- حساسیتهای الگوریتم RED

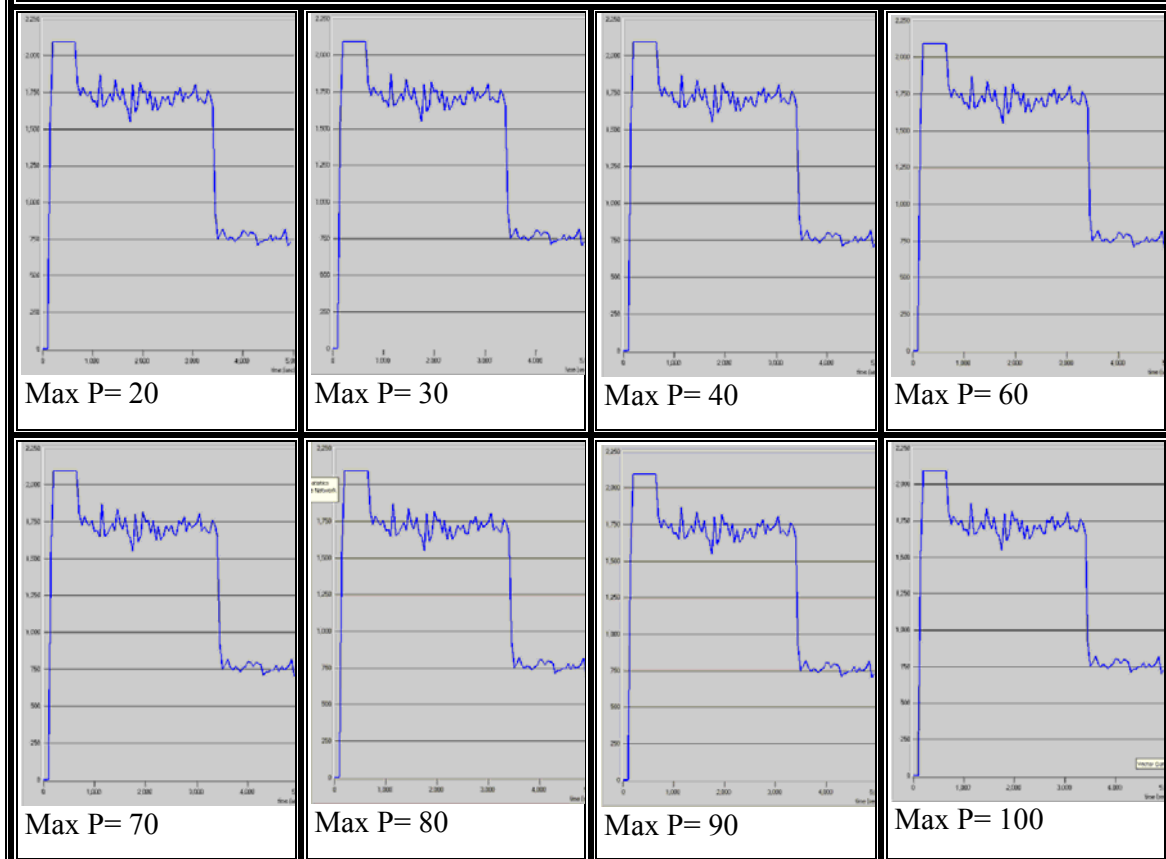
RED

Packets/Sec

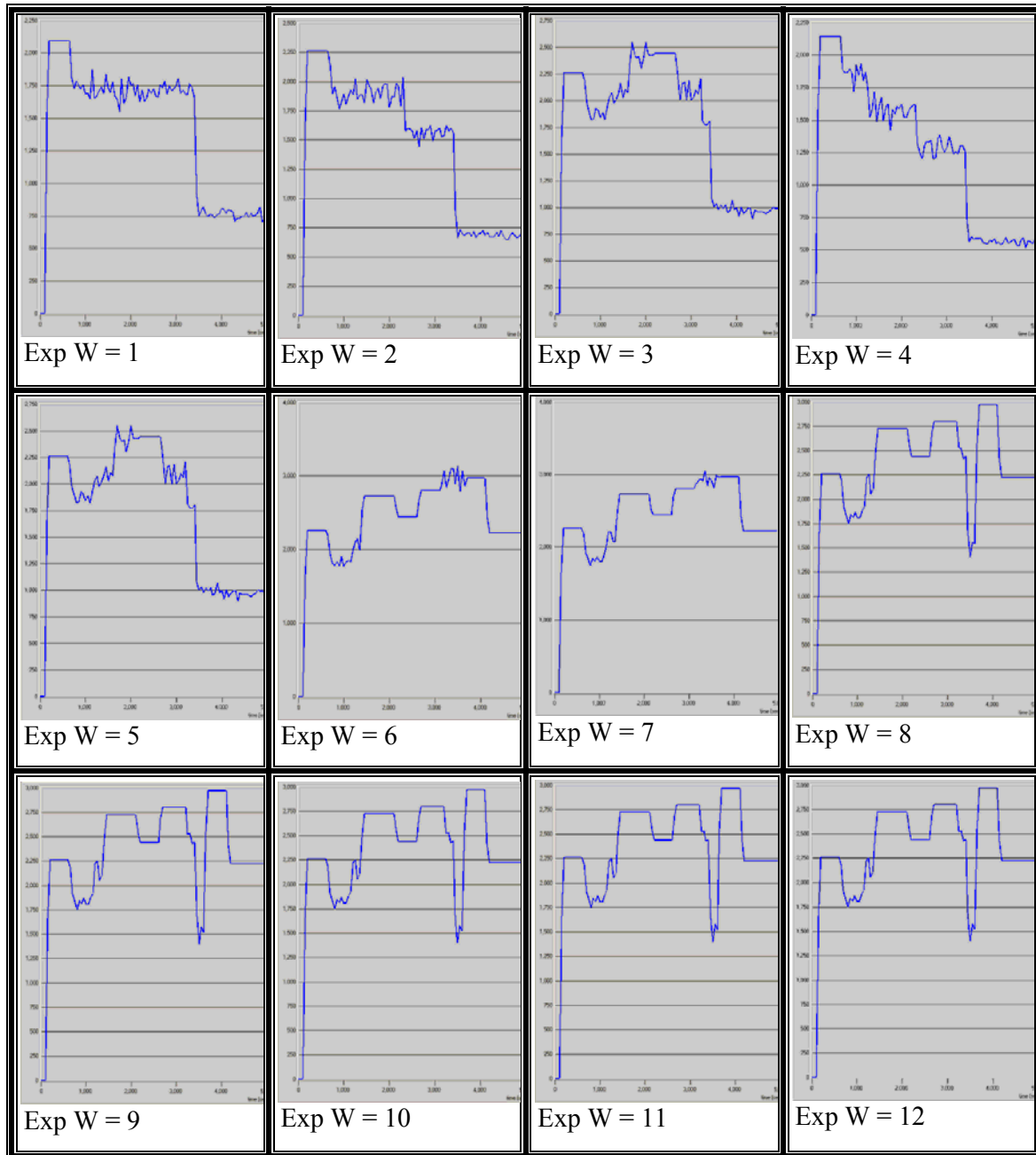




Test #3: Mark Probability Denominator Effect
Min Th = 5, Exp W = 1, Max Th = 30



Test #4: Exponential Weight Factor Effect
Min Th = 5, Max Th = 30, Max P= 50

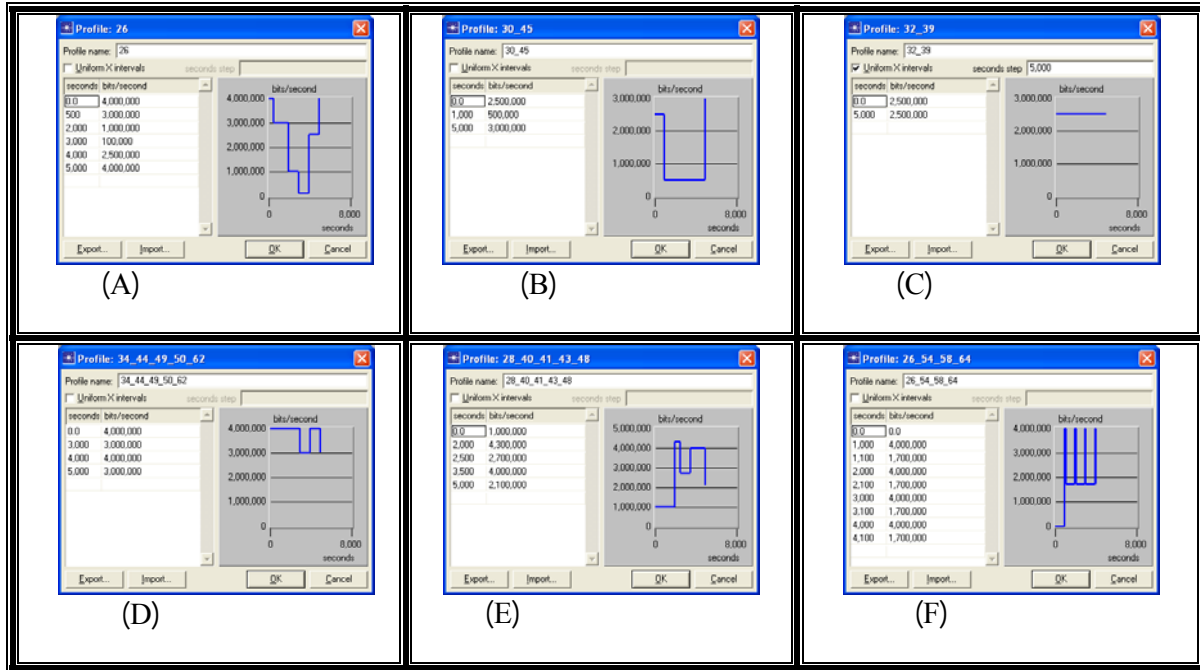


شکل ۶-۹ حساسیت الگوریتم RED به پارامترهایش

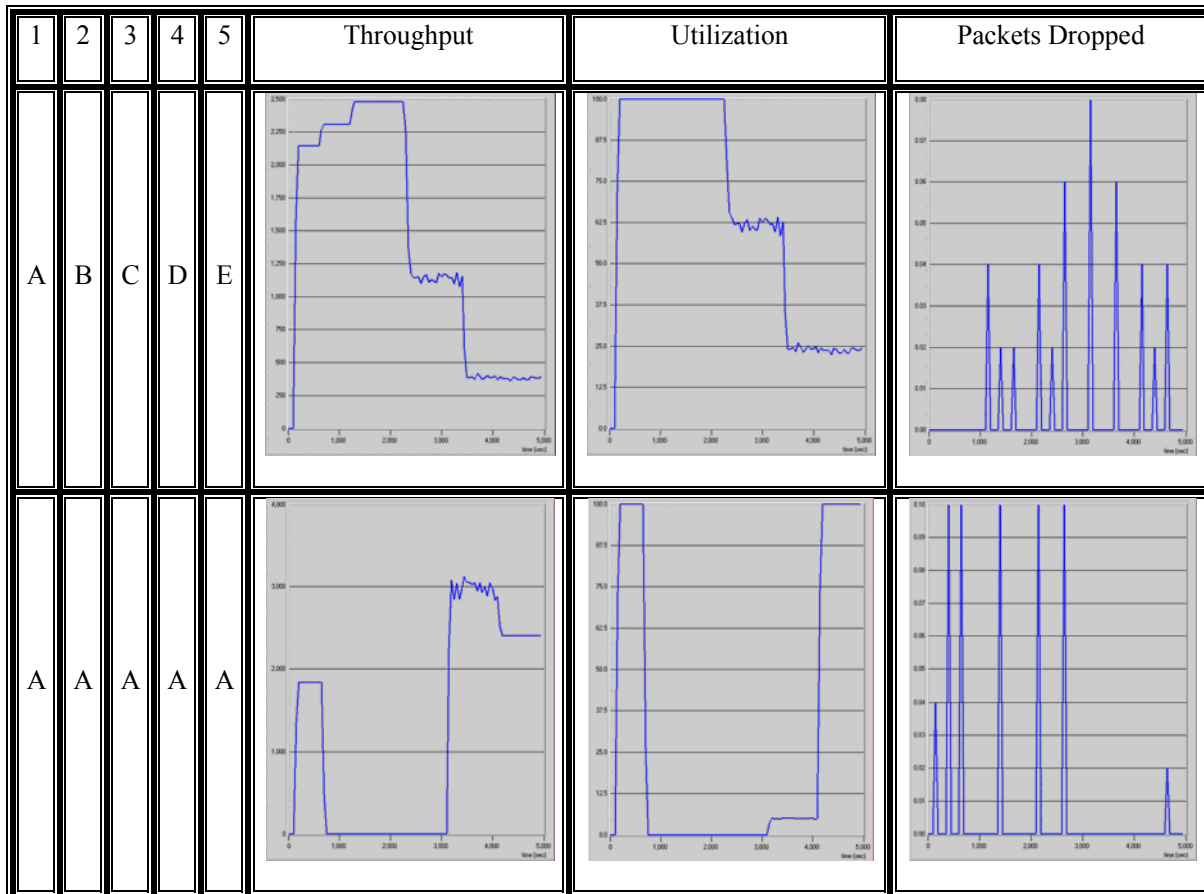
RED

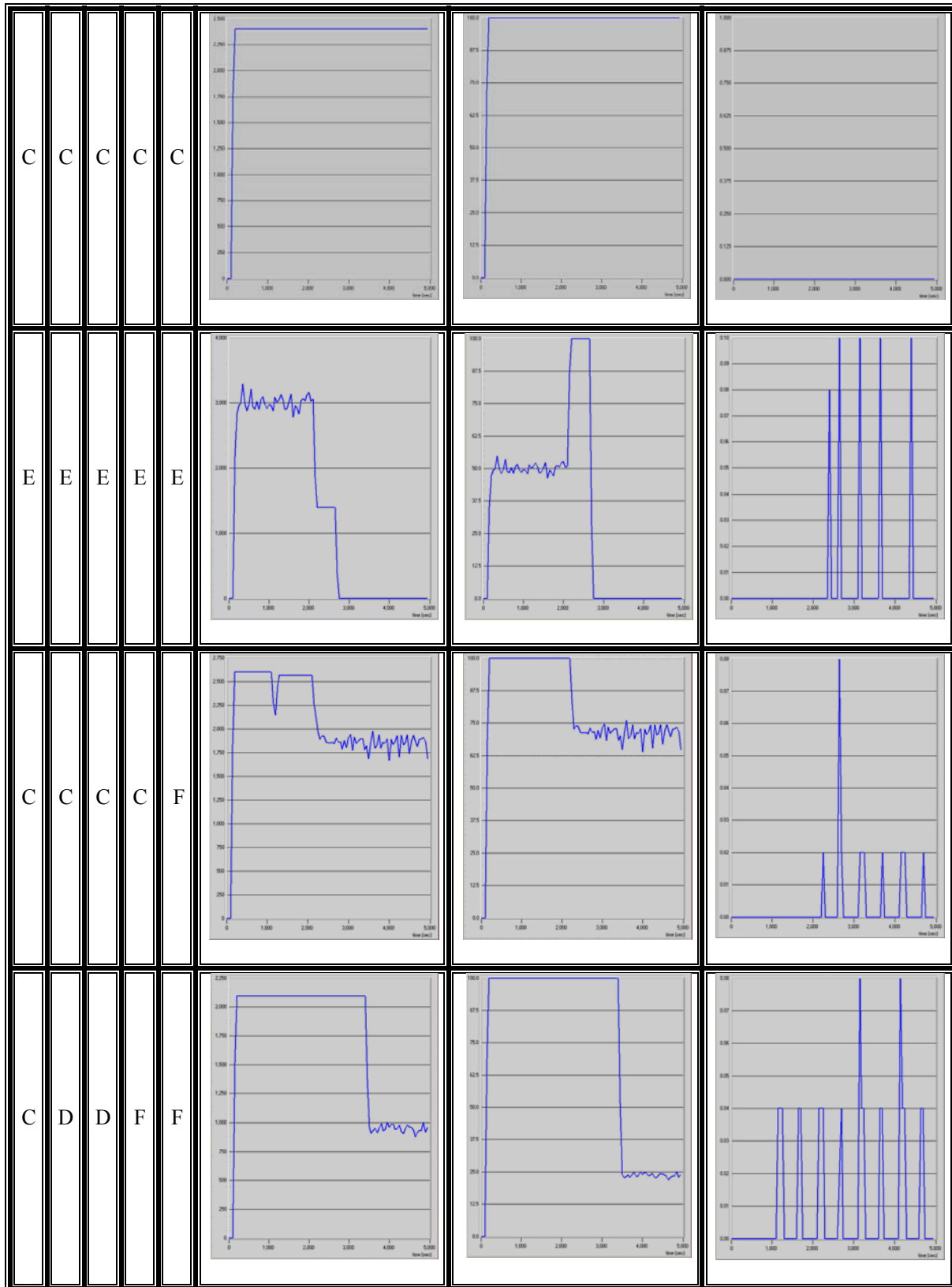
(Bit/Sec)

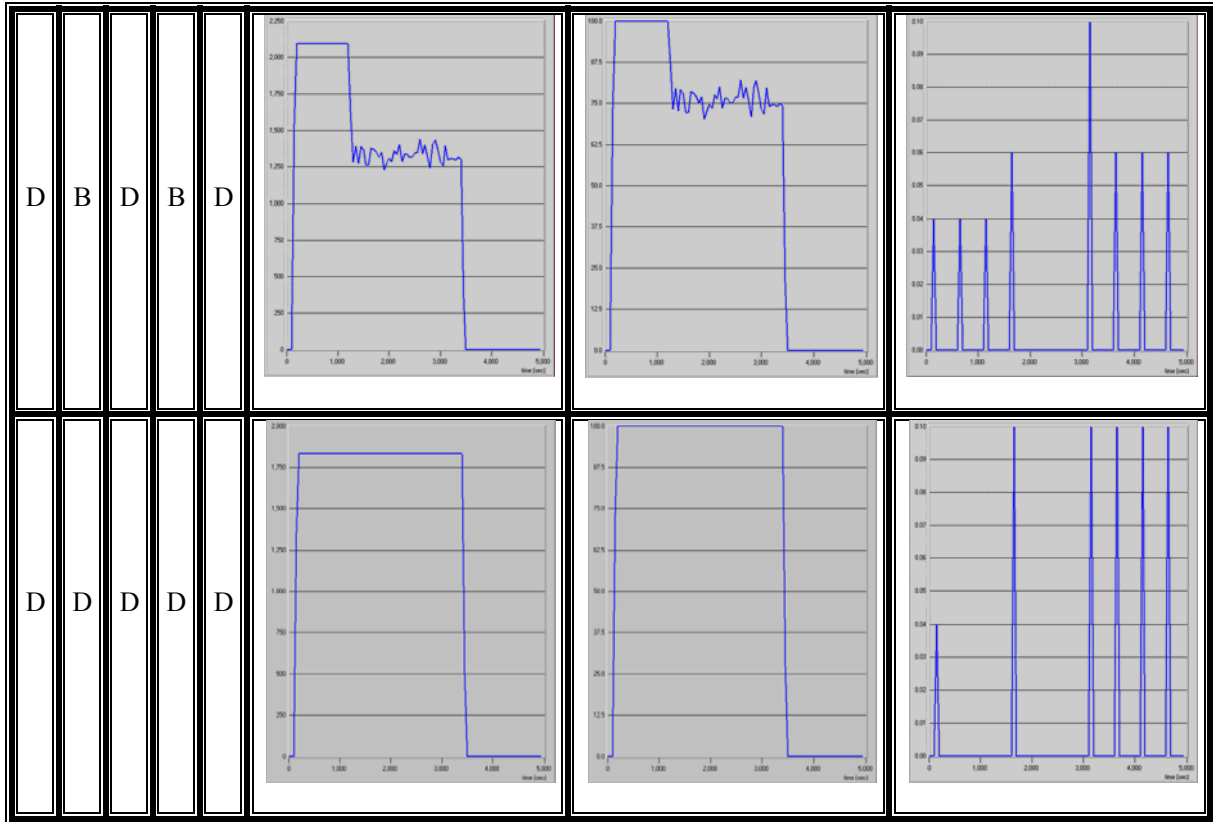
RED



شکل ۶-۱۰ نمودار انواع ترافیک ورودی بر حسب زمان



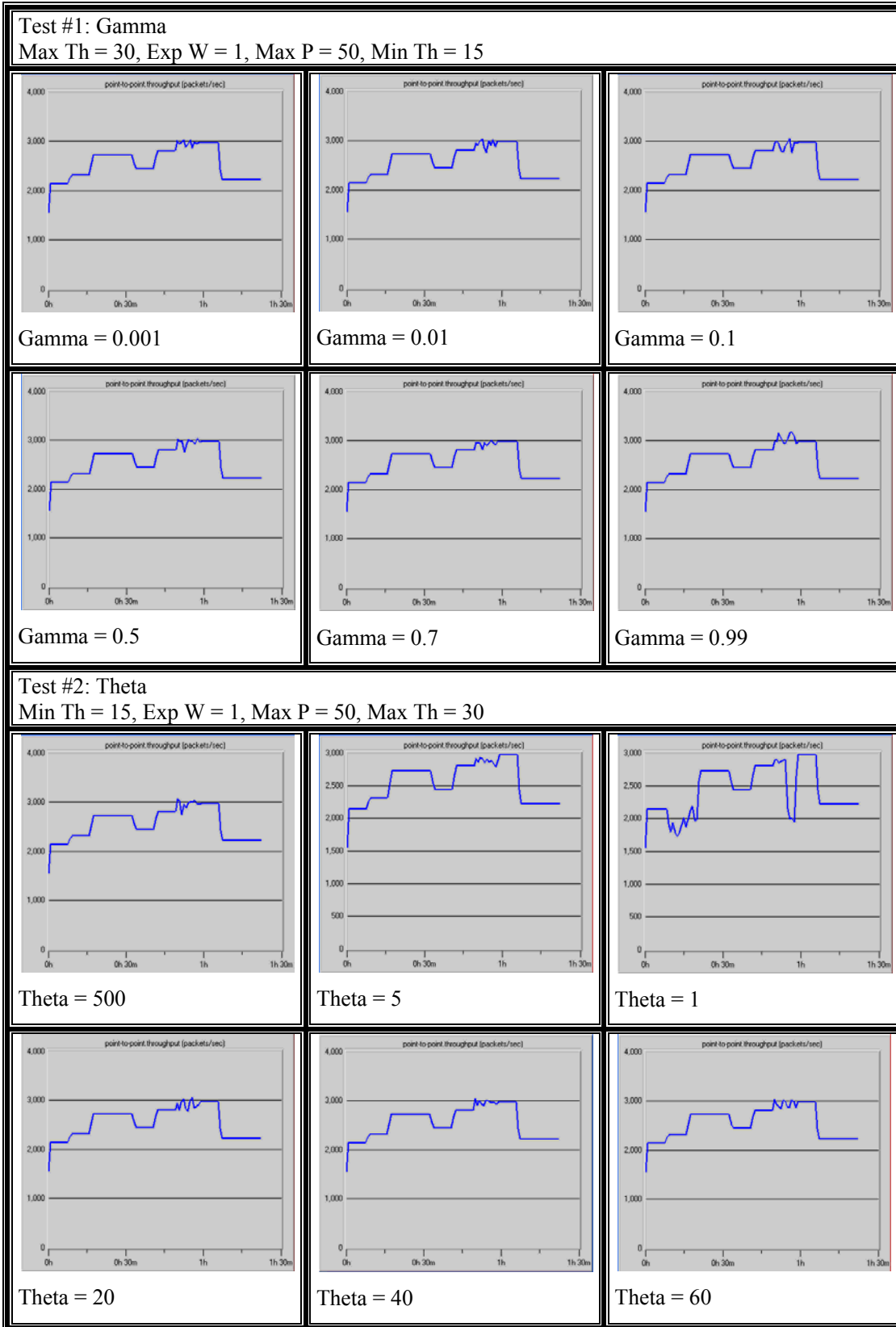




شکل ۶-۱۱ حساسیت الگوریتم RED به ترافیک ورودی

۶-۶-۲ - شبیه‌سازی الگوریتم FQL-RED

FQL-RED



شکل ۶-۱۲ حساسیت الگوریتم FQL-RED به پارامترهایش

FQL-RED

)

(

RED FQL-RED

()

()

() Max_{th} Min_{th}

() *RED*

()

()

:

(/) ○

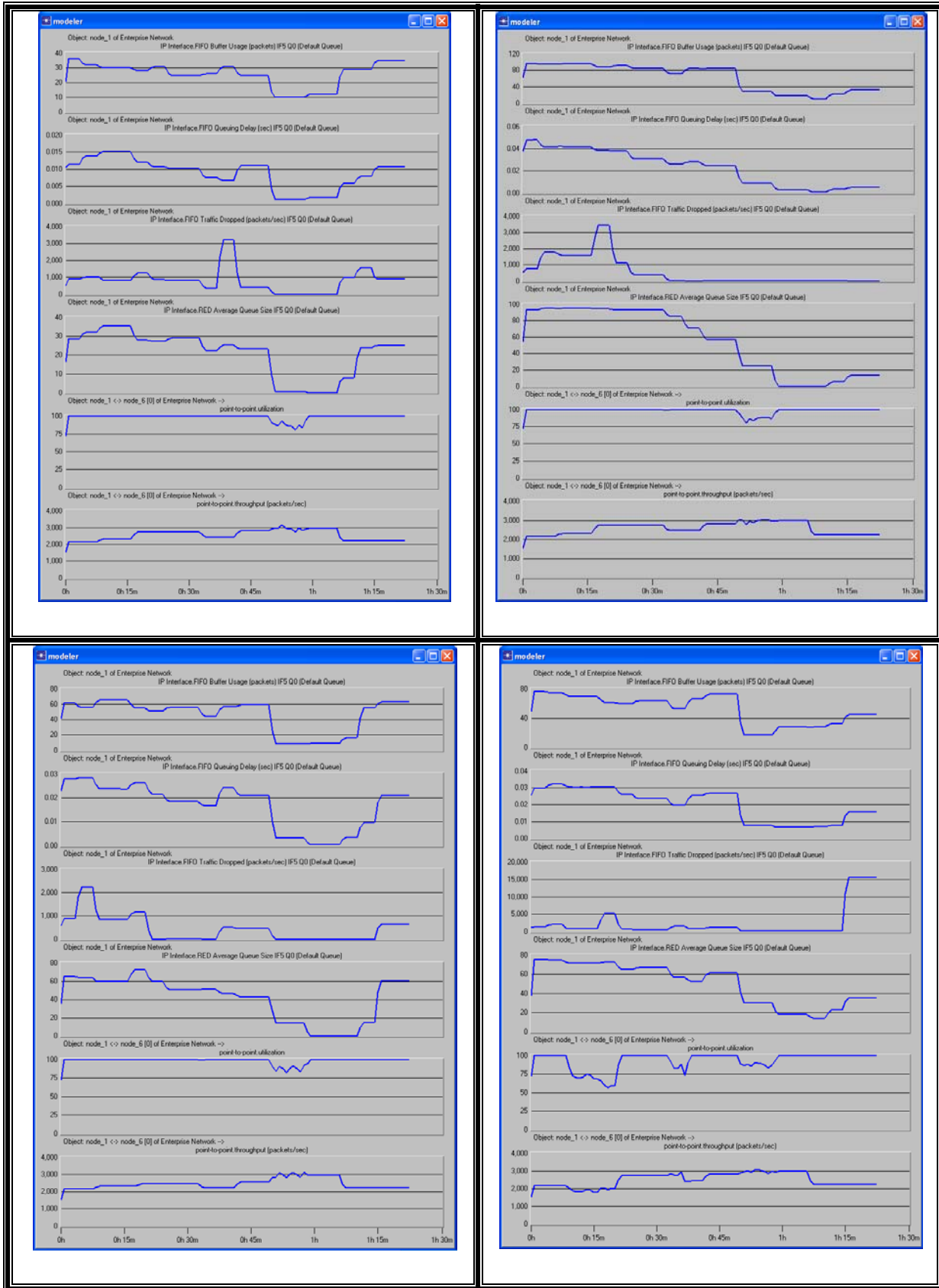
() ○

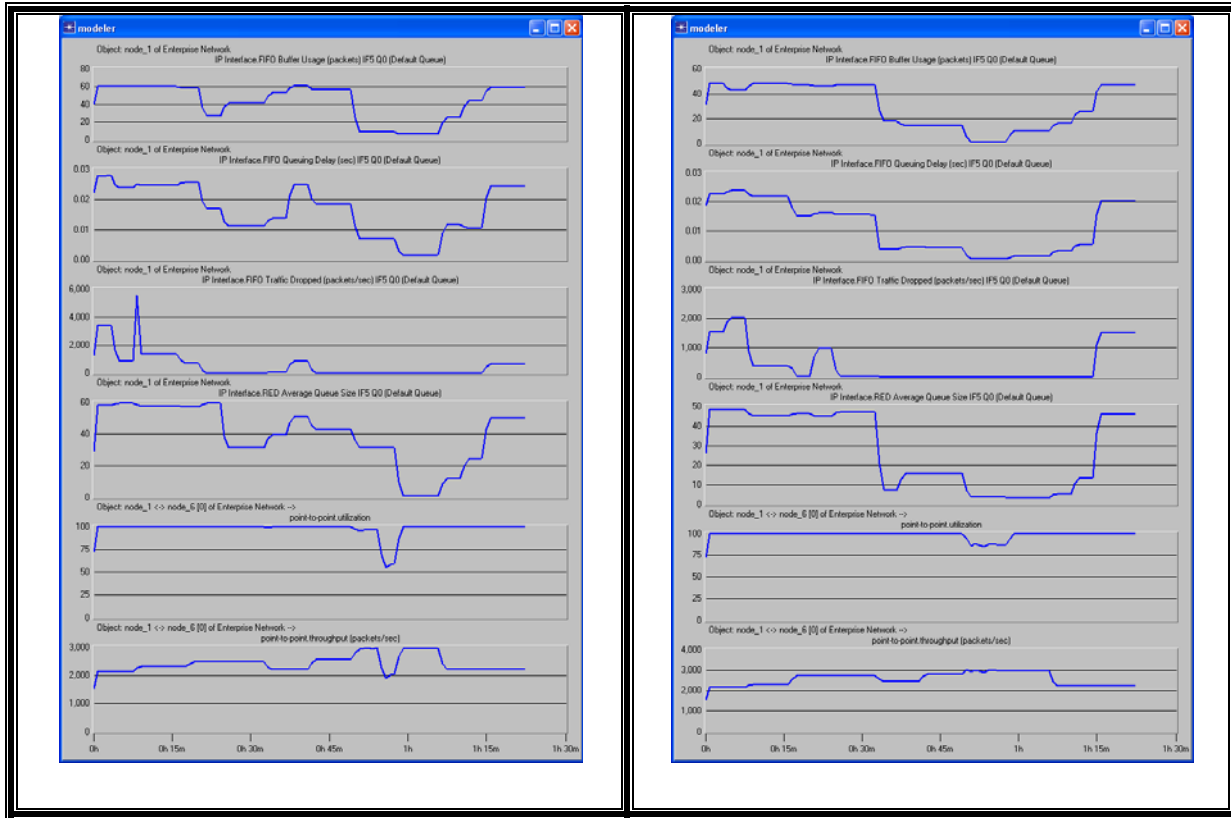
(/) ○

(/) *FQL-RED RED* ○

(%) ○

(/) ○





شکل ۳-۱۶ تأثیر سیگنالهای جزئی تقویت بر کارکرد *FQL-RED* و مقایسه با *RED*

[نتایج و جمع بندی]

۱. مقدمه
۲. مسئله‌ها و راه‌حلها
۳. مقایسه با سایر روشهای موجود
۴. پیشنهاداتی برای ادامه پژوهش

RED

RED

FQL-RED

()

FQL-RED

RED *FQL-RED*

FQL-RED

FQL-RED

N RED []

رابطه ۱-۷ وابستگی طول متوسط صف در RED به تعداد جریانهای فعال

$$q_{avg} = 0.91 \times N^{2/3} \times \left(\frac{max_{th}}{max_p} \right)^{1/3}$$

(RED)

۲-۷- مسئله ها و راه حلها

Q

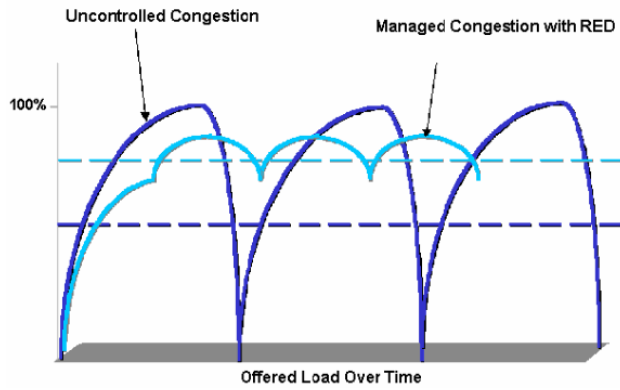
»

«

TCP

« » TCP

« »



شکل ۱-۷ نقش نحوه علامتگذاری تصادفی RED در بالا بردن بهره وری خط

FQL-RED

RED

« »

FQL-RED

FIFO

(QoS)

EF

○

○

○

Init $fqlPackets[queue_length]$ filled with zero

Upon Sample_Event (in_pkts, out_pkts):

$x = \text{index of first zero in } fqlPackets[]$

$fqlPackets[]$ shift right

$fqlPackets[0] = in_pkts$

while ($fqlPackets[x] > 0 \ \&\& \ out_pkts > 0$)

if ($fqlPackets[x] < out_pkts$)

$out_pkts = out_pkts - fqlPackets[x]$

$fqlPackets[x] = 0$

$x --$

else

$$fqlPackets[x] = fqlPackets[x] - out_pkts$$

Queuing Delay Sum Calculation:

$$d = 0$$

for $i=0$ to $queue_length$

$$d = d + i * fqlPackets[i]$$

شکل ۲-۷ محاسبه تأخیر صفبندی در زمان نمونه برداری

FQL-RED

(TCP)

(UDP)

FQL-RED

()

Max_p Max_{th}

Min_{th}

W_q

•

FQL-RED

•

FQL-RED

FQL-

RED

FQL-RED

•

FQL-RED

•

FQL-RED

$avg > Max_{th}$ RED FQL-RED

Max_{th}

Min_{th} •

RED

Min_{th}

Min_{th}

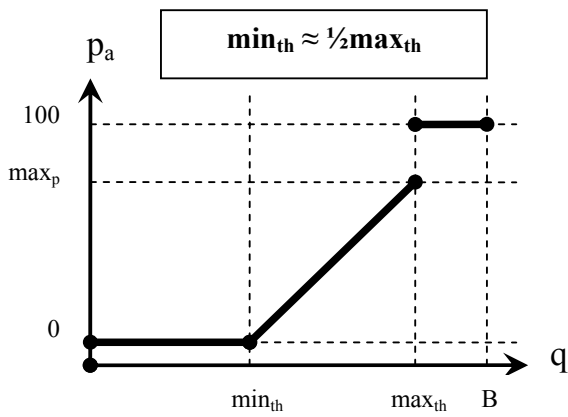
Min_{th}

« »

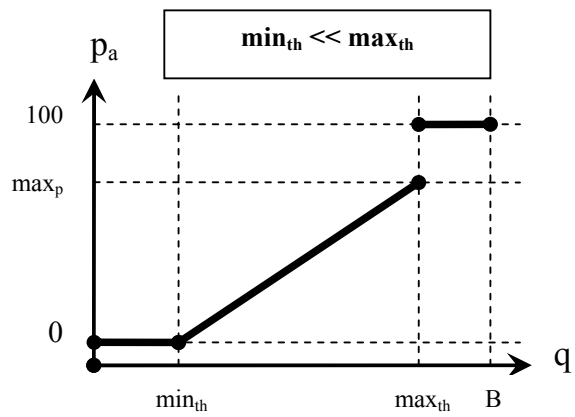
$Min_{th} = Max_{th}$

[RED]

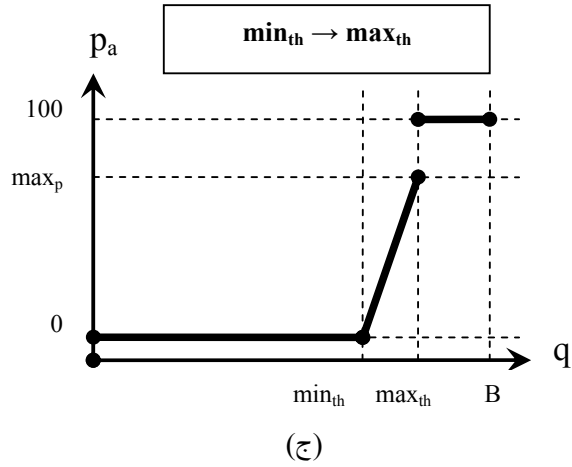
Min_{th}



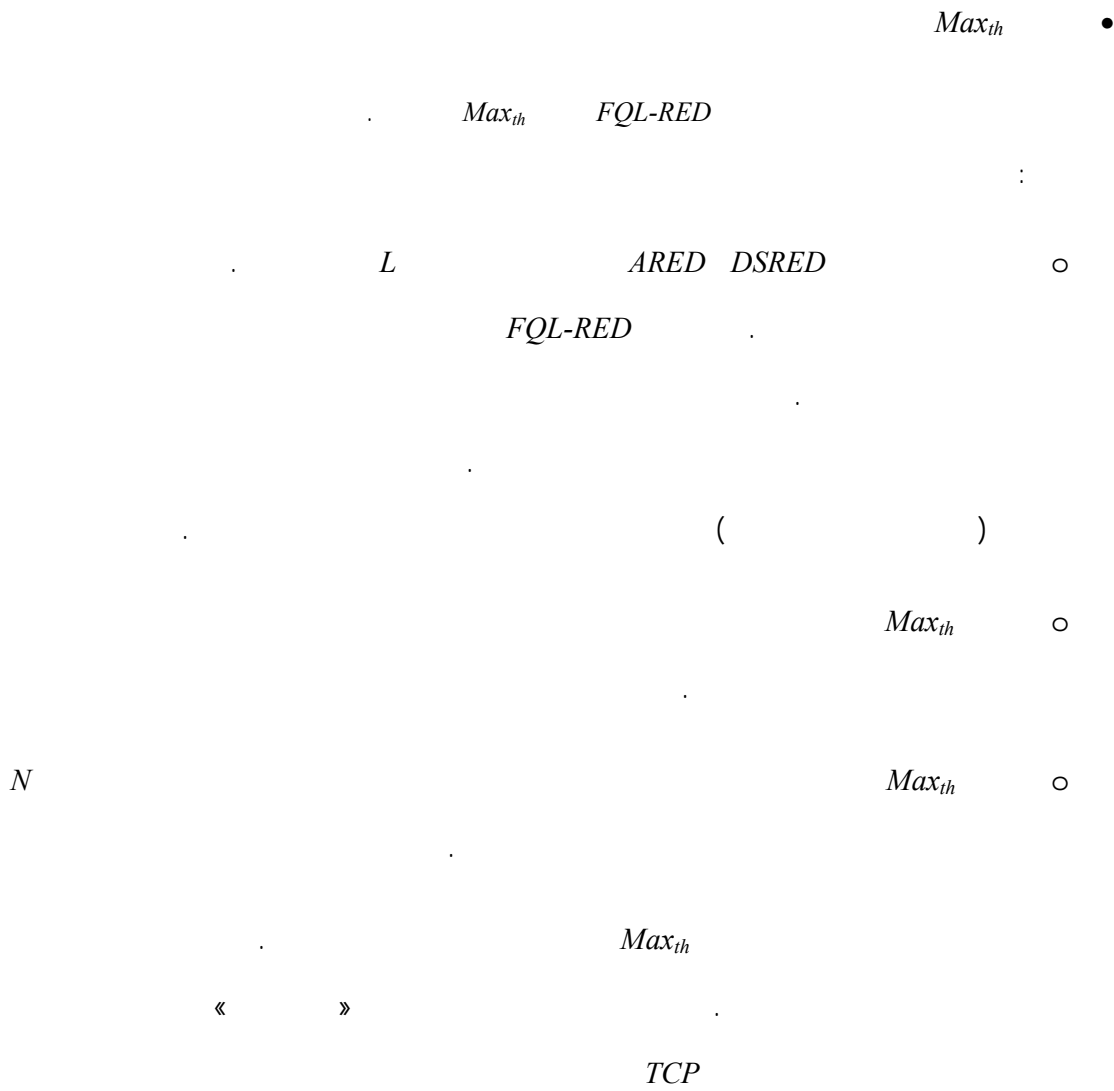
(ب)



(الف)

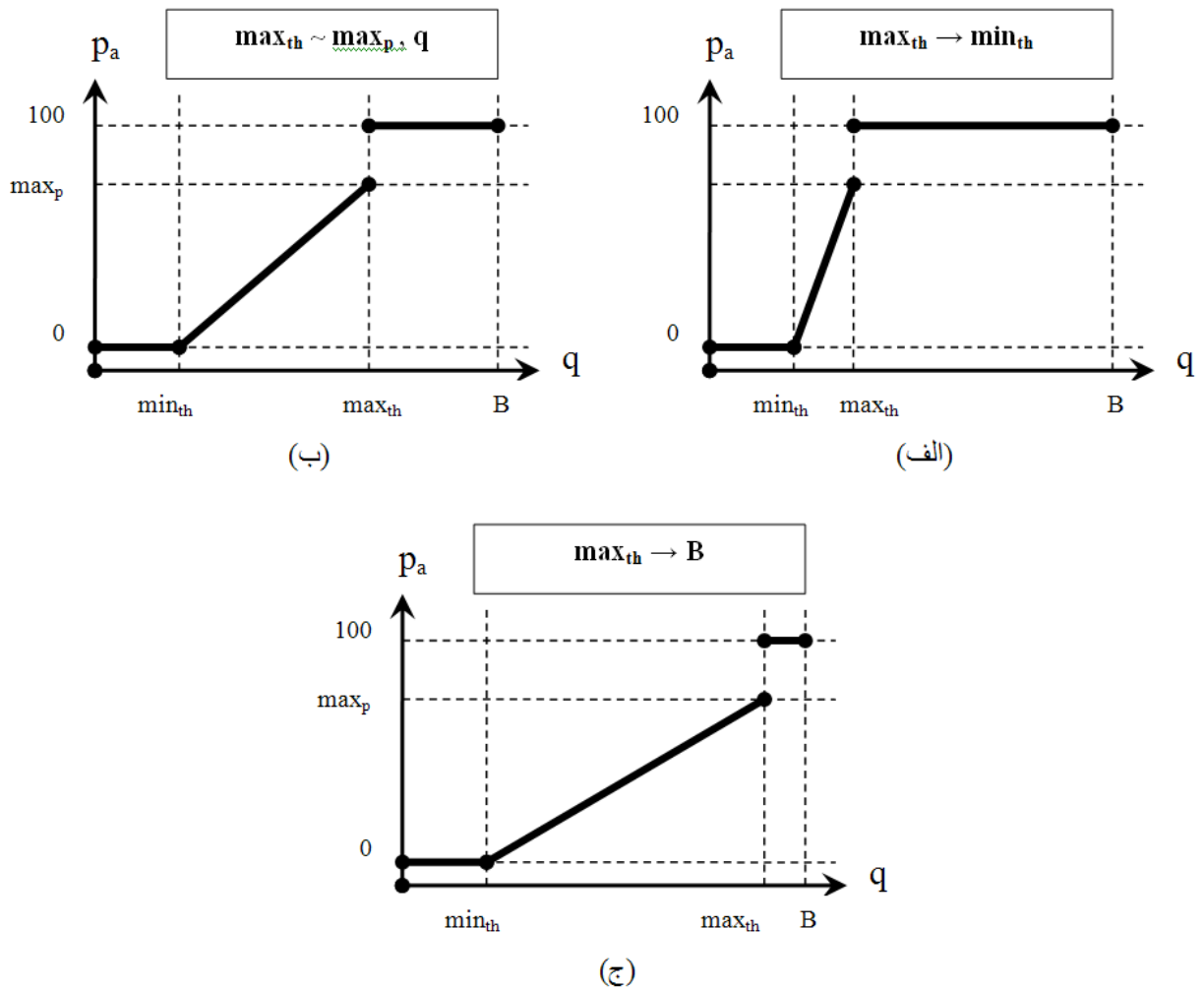


شکل ۳-۷ تأثیر Min_{th} روی کنترل ازدحام با $FQL-RED$



Max_{th}

TCP



شکل ۴-۷ تأثیر Max_{th} روی کنترل ازدحام با FQL-RED

Max_{th}

IP

TCP

Max_p

$$Min_{th} < avg \leq Max_{th} \quad FQL-RED$$

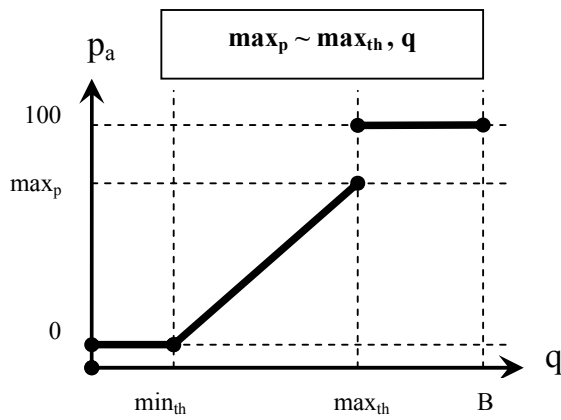
Max_p

FQL-

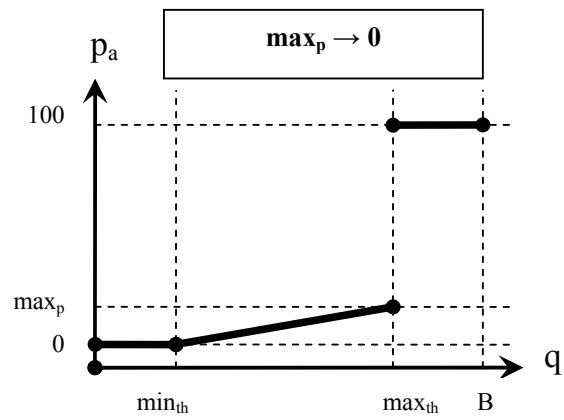
RED

Max_p

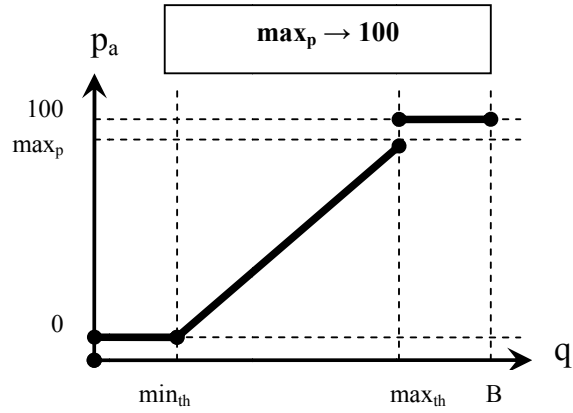
Max_p



(ب)



(ف)



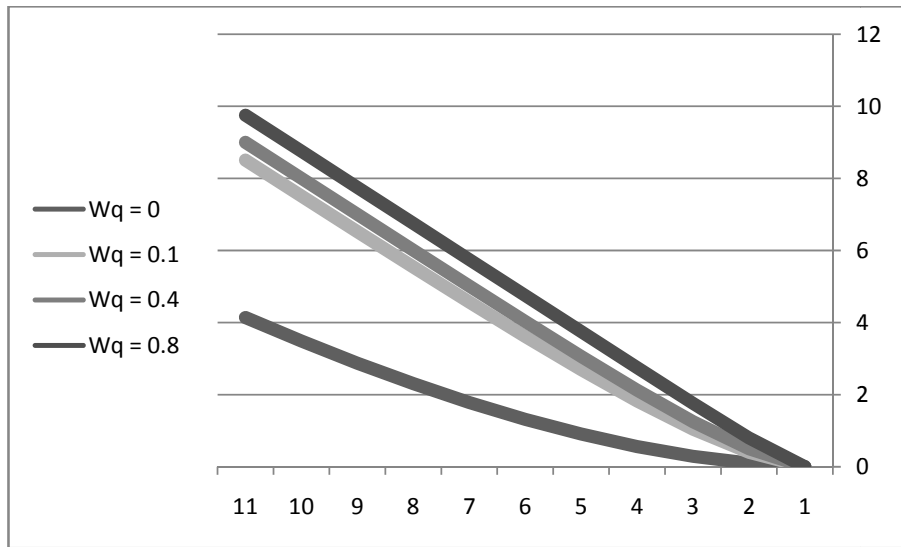
(ج)

شکل ۵-۷ تأثیر Max_p روی کنترل ازدحام با $FQL-RED$

« » $Max_p \rightarrow 0$

W_q •

RED $FQL-RED$



شکل ۶-۷ تأثیر W_q روی متوسط طول صف

W_q •

$FQL-RED$

W_q •

Min_{th} Max_{th} •

FQL-RED

« »

Max_{th}

Min_{th}

W_q Min_{th} •

W_q Min_{th}

L

FQL-RED

Min_{th}

L

W_q

Max_p Max_{th} •

TCP

Max_p Max_{th}

$$q = k \times \left(\frac{max_{th}}{max_p} \right)^{1/3} \Rightarrow max_{th} = k' \times q^3 \times max_p$$

: TCP

$$k = N^{2/3} \times \left(\frac{max_{th}}{max_p} \right)^{1/3} \Rightarrow max_{th} = \frac{k'}{N^2} \times max_p$$

TCP •

TCP

TCP

TCP

[]

[] FPQ

Max_{th}

FQL-RED

TCP

Max_p

TCP

$$q = k \times N^{2/3} \times \left(\frac{\max_{th}}{\max_p} \right)^{1/3} \Rightarrow N = k' \times \sqrt{q^3 \times \frac{\max_p}{\max_{th}}}$$

○

○

○

○

●

%

Min_{th}

●

$FQL-RED$

●

RED

$FQL-RED$

RED

RED



FQL-RED

RED

RED

RED

۷-۳- مقایسه با سایر روشهای موجود

RED

FQL-RED

RED

FQL-RED

ARED •

ARED

ARED .

ARED

FQL-RED

L

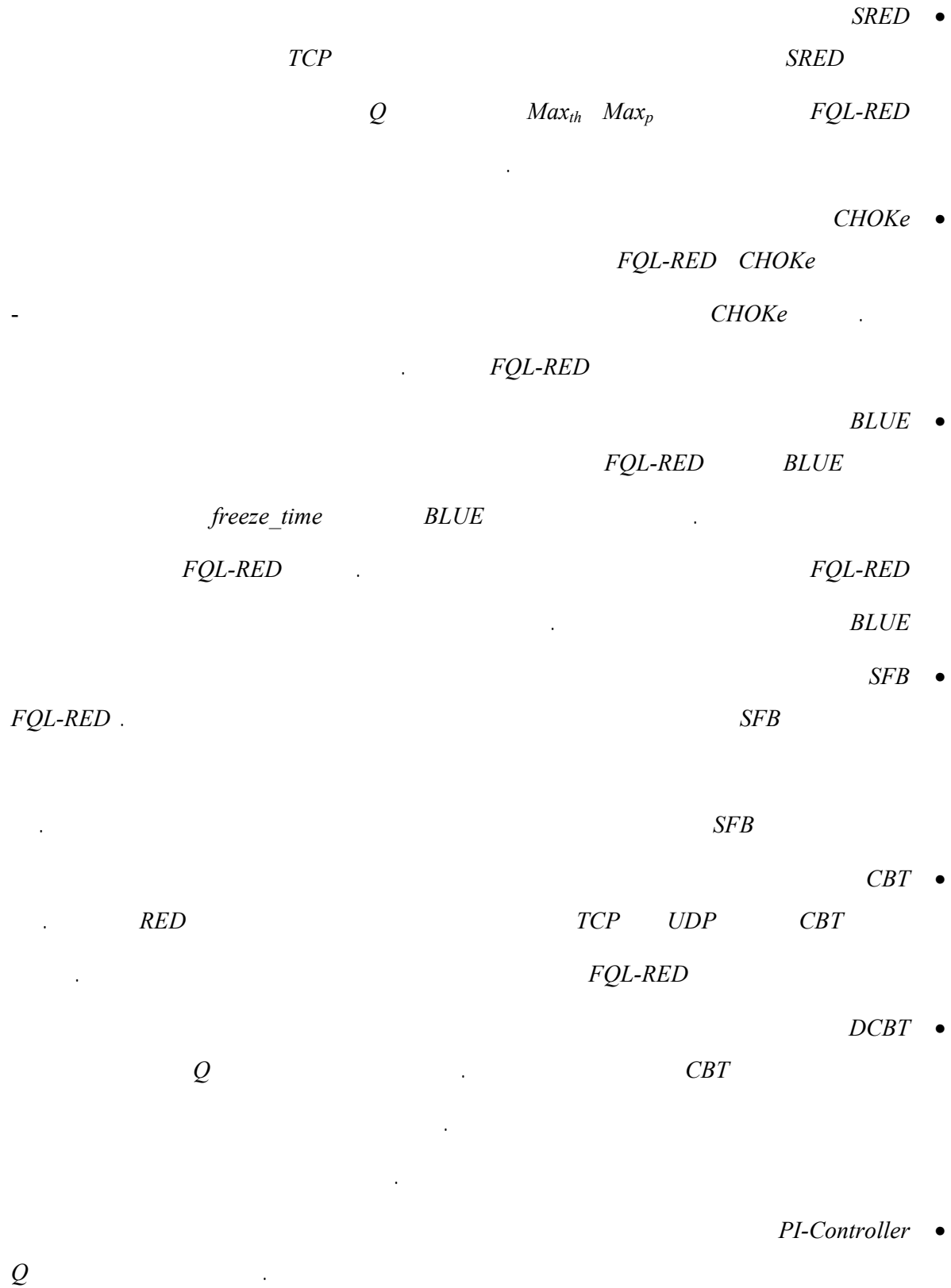
$d_2 \ d_1 \ \rho \ L$

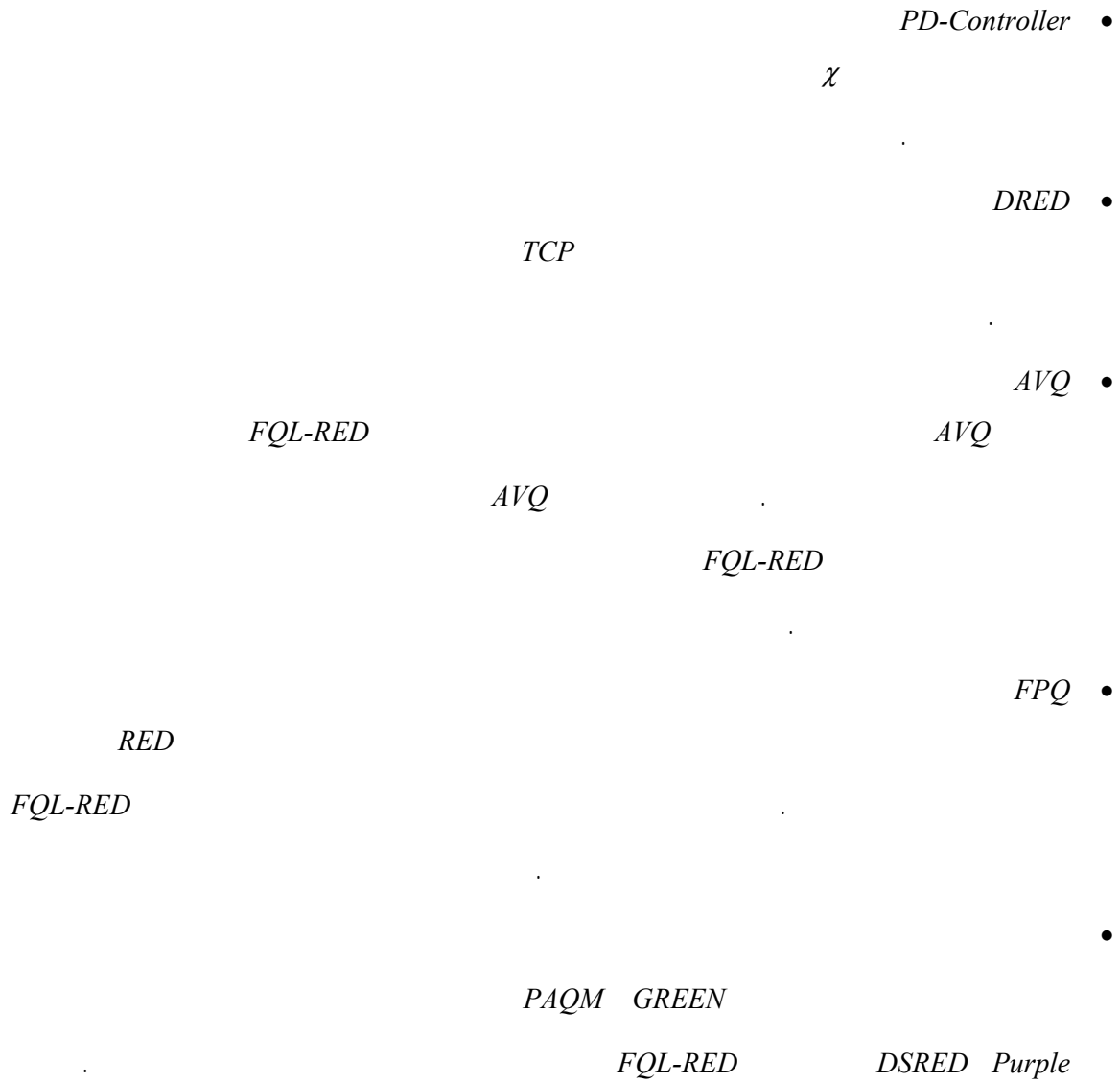
ARED

FRED •

FRED

FQL-RED





۴-۷- پیشنهاداتی برای ادامه پژوهش





- ... $OR \leftarrow AND$:
- ... \leftarrow :
- ... \leftarrow : $T\text{-norm}$
- ... \leftarrow :
- ... $\leftarrow Q$:
- ... $\gamma \theta: Q$
- ... \leftarrow :
- ... $TD(\lambda) \leftarrow TD(0)$: FIS
- ... :
- ... (...)
-) :
- ... (
- IP : RED
- ... $CFQ \leftarrow FIFO$:
- ... $\leftarrow Q$: RED
- ... $CBT \leftarrow RED$:
-) ($DSRED$) : RED
- ... () ($Exponential RED$)

- : •

...

OPNet *API* •

•

« » *OPNet* •

KouroshMeshgi@Gmail.com

مراجع

- [] M. Analoui and S. Jamali, "Bio-Inspired Congestion Control: Conceptual Framework, Algorithm and Discussion." vol. 69: **Springer**, 2007, pp. 63-80.
- [] S. Jamali and M. Analoui, "Internet congestion control using nature population control tactics." vol. 2 :**Elsevier**, 2007, pp. 337-352.
- [] S. Floyd, R. Gummadi, and S. Shenker, "Adaptive RED: An Algorithm for Increasing the Robustness of RED's Active Queue Management," 2001.
- [] G. Iannaccone, M. May, and C. Diot, "Aggregate traffic performance with active queue management and drop from tail." vol. 31: ACM New York, NY, USA, 2001, pp. 4-13.
- [] C. Wang, B. Li, Y. T. Hou, K. Sohrawy, and Y. Lin, "LRED: A robust active queue management scheme based on packet loss ratio," in IEEE INFOCOM, 2004, pp. 1-12.
- [] S. Liu, T. Basar, and R. Srikant, "Exponential-RED: a stabilizing AQM scheme for low-and high-speed TCP protocols," **IEEE/ACM Transactions on Networking**, vol. 13, pp. 1068-1081, 2005.
- [] Y. D. Xu, Z. Y. Wang, and H. Wang, "ARED: A Novel Adaptive Congestion Controller," in Machine Learning and Cybernetics. vol. 2, 2005.
- [] C. Joo, S. Bahk, and S. S. Lumetta, "A hybrid active queue management for stability and fast adaptation," **Journal of Communication and Networks**, ISSN 1229-2370 vol. 8, pp. 93-105, 2006.
- [] C. Chrysostomou, A. Pitsillides, L. Rossides, and A. Sekercioglu, "Fuzzy logic controlled RED: congestion control in TCP/IP differentiated services networks." vol. 8: **Springer**, 2003, pp. 79-92.
- [] S. Subasree, "Fuzzy DS RED An Intelligent Active Queue Management Scheme for TCP/ IP Diff-Serv," in **ICCI**, 2004.
- [] C. Wang, B. Li, K. Sohrawy, and Y. Peng, "AFRED: an adaptive fuzzy-based control algorithm for active queue management," in 28th Annual IEEE International Conference on Local Computer Networks, 2003, pp. 12-20.
- [] J. Sun, M. Zukerman, and M. Palaniswami, "Stabilizing RED using a Fuzzy Controller," in IEEE International Conference on Communications, 2007. ICC '07, 2007, pp. 266-271.
- [] J. Sun and M. Zukerman, "Improving RED by a Neuron Controller," in Lecture Notes in Computer Science: **Springer**, 2007.
- [] B. Hariri and N. Sadati, "NN-RED: an AQM mechanism based on neural networks." vol. 43, 2007, pp. 1053-1055.
- [] M. Jahanshahi and M. R. Meybodi, "An Adaptive Congestion Control Method for Guaranteeing Queuing Delay in RED-Based Queue Using Learning Automata," in International Conference on Mechatronics and Automation, 2007. ICMA 2007, 2007, pp. 3360-3365.
- [] X. Wang, Y. Wang, H. Zhou, and X. Huai, "PSO-PID: a novel controller for AQM routers," in Wireless and Optical Communications Networks, 2006 IFIP International Conference on, 2006, p. 5.

- [] W. Jun-song, G. Zhi-wei, and S. Yan-tai, "RBF-PID Based Adaptive Active Queue Management Algorithm for TCP Network," in IEEE International Conference on Control and Automation, 2007. ICCA 2007., 2007, pp. 171-176.
- [] C. K. Chen, H. H. Kuo, J. J. Yan, and T. L. Liao, "GA-based PID active queue management control design for a class of TCP communication networks," **Elsevier**, 2007.
- [] Y. Hadjadj Aoul, A. Mehaoua, and C. Skianis, "A fuzzy logic-based AQM for real-time traffic over internet." vol. 51: **Elsevier**, 2007, pp. 4617-4633.
- [] F. Yanfei, R. Fengyuan, and L. Chuang, "Design of an active queue management algorithm based fuzzy logic decision," in ICCT 2003, International Conference on Communication Technology. vol. 1, 2003.
- [] C. N. Nyirenda and D. S. Dawoud, "Multi-objective Particle Swarm Optimization for Fuzzy Logic Based Active Queue Management," in IEEE International Conference on Fuzzy Systems, 2006, pp. 2231-2238.
- [] M. F. Zhani, H. Elbiaze, and F. Kamoun, "SNFAQM: An Active Queue Management Mechanism Using Neurofuzzy Prediction," in 12th IEEE Symposium on Computers and Communications, 2007, pp. 381-386.
- [] J. Wu and K. Djemame, "A Fuzzy-Expert-System-Based Structure for Active Queue Management." vol. 3645: **Springer**, 2005, p. 266.
- [] شبکه‌های کامپیوتری (ویرایش چهارم)
- [] L. Mamatas, T. Harks, and V. Tsaoussidis, "Approaches to Congestion Control in Packet Networks," in Journal Of Internet Engineering, Vol. 1, No. 1, pp. 22-33, 2007.
- [] L.P. Kaelbling , M.L. Littman, "Reinforcement Learning: A Survey," in **Journal of Artificial Intelligence Research** Vol. 4, pp. 237-285, 1996.
- [] " Q "
- [] R. Fuller, " Neural Fuzzy Systems," in Abo: Abo Akademi University, 1995.
- [] H.R. Berenji, "Fuzzy Q-learning for Generalization of Reinforcement Learning," in Proceedings of the Fifth IEEE International Conference on Fuzzy Systems, New Orleans, Louisiana, September 1996, pp. 2208-2214.
- [] A. Ferdowsizadeh Naeni, *Advanced Multi-Agent Fuzzy Reinforcement Learning*, Master Thesis, Dalarna University, 2004.
- [] شبکه‌های کامپیوتری و انتقال داده‌ها(ویرایش هفتم)

- [] S. Dijkstra, *Modeling Active Queue Management algorithms using Stochastic Petri Nets*, Master Thesis, University of Twente, 2004.
- [] S. Floyd and V. Jacobson, "Random Early Detection gateways for congestion avoidance", **IEEE/ACM Transactions on Networking**, vol. 1 No. 4, pp. 397-413, 1993.
- [] W.R. Stevens. "TCP Slow Start, Congestion Avoidance, Fast Retransmit, and Fast Recovery Algorithms," IETF RFC 2001, 1997.
- [] R. Morris, "Scalable TCP Congestion Control," Proc. IEEE INFOCOM 2000, Tel Aviv, Israel, Mar. 26–30, 2000, pp. 1176–83.
- [] E. Hashem, "Analysis of random drop for gateway congestion control", Report LCS TR-465, Laboratory for Computer Science, MIT, Cambridge, MA, 1989, p.103.
- [] Ch. Zhu et al., "A Comparison of Active Queue Management Algorithms Using the OPNET Modeler," **IEEE Communications Magazine**, pp. 158-167, June 2002.
- [] Cisco IOS Technology Division, Quality of Service Lecture Notes, Feb 2001.

هوش مصنوعی: رهیافتی نوین (ویرایش دوم)

[]

واژه نامه

[واژگان معادل]

۱. واژه نامه
۲. مخفف ها

واژه نامه:

English

فارسی

Artificial Intelligence

Machine Learning

Classification

Supervised Learning

Learning by Taking Advice

Unsupervised Learning

Competitive Learning

Clustering

Reinforcement Learning

Intelligent and Adaptive Control

Real Time

Layer

Bottleneck

Congestion

Quality of Service

Transport Layer

Flow Control

Crash Recovery

Jitter

Micro Economic Theory

Convex Optimization

Max-Min Fair Allocation

Utility Function

Lagrange Dual

Lagrange Multipliers

Loss

Delay

Explicit Signals

Deployability

High Bandwidth-Delay Products

Lossy Network

Minimum Potential Delay

Semi-Supervised Learning

Transduction

Inductive Bias

Literal

Fuzzy Reasoning

Neural Networks

Non-Deterministic

Stationary

Online

Policy

Finite Horizon

Receding Horizon Control

Horizon Effect

Infinite Horizon Discounted Model

Average Reward Model

Gain Optimal Policy

Bias Optimal Model

Platuaau

Regret

Exploration vs. Expoitation

Dynamic Programming Approach

Basian Reasoning

Belief States

K-Armed Bandit Problem

K

Learning Automata

Linear Reward Inaction

Ad-Hoc Techniques

Heuristic

Sub-Optimal Action

Greedy Strategies

Interval Expolration Method

Curoosity-Driven Exploration

Perioritized Sweeping

Randomized Strategies

Expected Reward

Temprature

Interval-Based Techniques

Certainty

Variance

Interval Estimation Algorithm

Delayed Reward

Marcov Decision Process

Value Iteration

Bellman Residual

Model-Free Methods

Temporal Credit Assignment

Temporal Difference Method

Adaptive Heuristic Critic

Experience Tuple

Eligibility

Q-Learning

Q

Exploration Insensitive

Absorbing

Certainty Equivalent Methods

Naive

Plaxus Planning System

Envelope

Generalization

Inductive Concept Learning

Straight Frward Supervised Learning

Noisy

Fuzzy Logic

Local Memory Based Methods

Structural Credit Assignment

Immediate Reward

Associative RL

Reward Comparison	
Complementary Reinforcement BackPropagation	
Feed Forward	
Associative Reinforcement Comparison	
Reinforce Algorithm	
Gradient Descent	
Cascade Method	
Monte-Carlo Experiment	
Near-Optimal	
Partition	
Granularity	
Adaptive Resolution	
Decision Trees	
Split	
Parity	
Coarse Regions	
Mental Trajectories	
Neural RL	
Hierarchical Models	
Gated Behavior	
Gating Function	
Feudal Q-Learning	Q
Compositional Q-Learning	Q
Sequensing of Subgoals	
Elemental Tasks	
Hierarchical Distance To Goal	
Landmark	
Partially Observable Environment	
Observation	
Incomplete Perception	
Perceptual Aliasing	
Stochastic	
Recurrent Q-Learning	Q
Recurrent NN	

History Features

Classifier System

Bucket Brigade Algorithm

Finite History Window

Utile Suffix Memory

Perfect Memory Controller

Forward-Backward Algorithm

State Splitting Rules Heuristic

Estimated World Model

Bayes Rule

Fuzzy Inference System

Actor Critic Learning

Universal Approximators

Priori Knowledge

Rule-Base

Linguistic Terms

Membership Function

Singleton Spikes

Consequent part of the rule

Crisp

Fuzzification

Defuzzification

Readability

Double ϵ -Greedy

ϵ

Fired Rule

Eligibility Trace Matrix

Recency Factor

Store & Forward

»

Time Constant

Retransmission Policy

Selective Repeat

Acknowledgement Policy

Packet Lifetime

Timeout Interval

Utilization

Threshold

Choke Packet

Exponential Weighting

Hop-by-Hop

Load Shedding

Random Early Detection

Connection-Oriented

Three-way Handshaking

Full Duplex

Active Queue Management

Drop Tail

Throughput

Reactive

Proactive

Congestion Avoidance

Congestion Prevention

Fairness

Packet header

Burst Traffic

Equilibrium

Queue Occupancy

Buffer

Buffer Overflow

Global Synchronization

Hash Function

Configurable

Steady-State Regulation Error

Load Dependent

Virtual Capacity

Incipient

Topology

Damping

Propagatiien Delay

IP Source Quench Message

Exponential Weighted Moving Average

Pipe Line

Underutilized

Discrete Event Simulation

مخفف ها:

<i>Abbreviation</i>	<i>Full Text</i>
TCP	<i>Transmission Control Protocol</i>
AI	<i>Artificial Intelligence</i>
ML	<i>Machine Learning</i>
UDP	<i>User Datagram Protocol</i>
MDP	<i>Markov Decision Process</i>
POMDP	<i>Partially Observable MDP</i>
NN	<i>Neural Networks</i>
HMM	<i>Hidden Markov Model</i>
RTT	<i>Round Trip Time</i>
EWMA	<i>Exponential Weighted Average</i>
FSM	<i>Finite State Machine</i>
FQL	<i>Fuzzy Q-Learning</i>