

## تطوير متحكم تكيفي Awnpid لتحسين إدارة الرتل الفعال (AQM)\*

م. حسن جليل حسن\*\*

أ.د. صالح مهدي القرعاوي\*\*\*\*

أ.د. فاروق دريعي\*\*\*

### الملخص

تمثل شبكة الإنترنت مصدراً مشتركاً لتبادل المعلومات، إذ يتنافس المستخدمون على سعة إرسال محدودة، وهذا التنافس بين المستخدمين قد ينتج عنه مشكلة الاختناق (Congestion) التي تؤدي إلى عملية انتظار طويلة أو خسائر في حزم البيانات أوفي كليهما. إن السيطرة على الاختناق تعني تنظيم معدل الإرسال لمصادر حزم البيانات الداخلة للشبكة لضمان استغلال كبير لسعة الإرسال وتجنب اختناق الشبكة. في الوقت الحالي هناك آليتان تتعاملان مع الاختناق. الآليات الطرفية التي تُنجزُ بواسطة البروتوكول TCP (Transmission Control Protocol)، وخوارزميات النقاط الوسطى مثل نظام إدارة الطابور الفعال Active Queue Management (AQM) في الموجهات (Routers).

في هذا البحث طُوِّرَ متحكم تكيفي Awnpid (Adaptive Wavelet Network PID) باستخدام شبكة الموجة مع متحكم (PID) لتحسين إدارة الرتل الفعال (AQM) في شبكة بروتوكول التحكم بالإرسال (TCP). يعتمد المتحكم المذكور على شبكة الموجة (Wavelet Network) المدمجة مع هيكل الاستجابة النبضية اللامنتهية IIR (Infinite Impulse Response). إن دمج شبكة الموجة مع التركيب البنوي للاستجابة النبضية اللامنتهية تنتج عنه الشبكة الموضوعية المضاعفة (double local network) التي تعمل على تحسين سرعة التعلم في النظام. خوارزميات المتحكمين PI و PID استخدمتا للتحكم بإدارة الرتل الفعال AQM لكنها أظهرت ضعفها في التحكم بالاختناق (congestion) تحت تأثير بعض التغيرات الديناميكية. لذلك صُمِّمَ المتحكم (Awnpid) لتجاوز هذه المشكلة. يقوم المتحكم المذكور بالتحكم باحتمالية إسقاط الرزم وذلك بتدريب متغيرات شبكة الموجة (الوزن، والتوسع، والانتقال، ومعامل التغذية الأمامية ومعامل التغذية العكسية لشبكة IIR)، وتحديث قيم تلك المتغيرات باستخدام خوارزمية مربع المعدل الأقل (LMS). بعدها يجري تنعيم متغيرات المتحكم PID بموجب إشارة الخرج لشبكة الموجة (Wavelet Network Output). تتجسد الإضافة العلمية في هذه المقالة في إقحام برامجيات بلغة ++C في جسد المحاكى (Network System 2) NS2 الإصدار (version 2.27) لتمكينه من محاكاة الشبكة الحاسوبية باستخدام المتحكم التقليدي PID والمتحكم التكيفي Awnpid فضلاً عن المتحكم الأساسي PI الموجود أساساً في هيكل المحاكى.

الكلمات المفتاحية: المتحكم التكيفي، شبكة الموجة، إدارة الرتل الفعال، بروتوكول التحكم بالإرسال.

\* أعد هذا البحث في سياق رسالة الدكتوراه للمهندس حسن جليل حسن بإشراف الأستاذ الدكتور فاروق دريعي ومشاركة الأستاذ الدكتور صالح مهدي القرعاوي.

\*\* قسم هندسة السيطرة والنظم - الجامعة التكنولوجية - بغداد.

\*\*\* هندسة الحواسيب والأتمتة - كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية - جامعة دمشق.

\*\*\*\* هندسة السيطرة والنظم - الجامعة التكنولوجية - بغداد.

## 1. المقدمة

الخدمة ومتطلباته، بسبب محدودية إمكانية التحكم في نهاية النظام (end system). من هنا دعت الحاجة إلى إجراء بعض القياسات ضمن العقدة الوسطية (intermediate node) المتمثلة بالموجه (router) لاستكمال تلافي الاختناق في نهاية النظام. اقترحت إدارة الرتل الفعال [active queue management (AQM)] كصنف من أصناف ميكانيكية الإسقاط/المروور (dropping/marking) لإسناد عملية التحكم بالاختناق في نظام التحكم من نهاية إلى نهاية (end-to-end congestion control) في شبكة المعلومات [3]. تحدث ظاهرة الاختناق عادةً عندما يكون إرسال المعلومات من قبل المرسل داخل الشبكة بكميات أكبر من تلك التي تُحرَّرَ للمستلم. إن أولى الاستراتيجيات وأبسطها التي جرى تبنيها من قبل الموجهات (routers) لإدارة الرتل هي استراتيجية إسقاط الذيل (tail drop) التي تُنفَّذُ بالمبدأ الذي يدخل أولاً يخرج أولاً (FIFO) في إدارة الرتل. سميت هذه الاستراتيجية بإسقاط الذيل بسبب قيام الموجه بإسقاط الرزم التي تصل حديثاً عندما يكون فضاء حاجز الموجه (router buffer space) ممتلئاً. هذه الاستراتيجية خدمت شبكة المعلومات عدة سنوات، ولكنها اشتملت على ظاهرتين أساسيتين غير مرغوب بهما وهما:

### أ-الطرد (lock-out):

في بعض المواقف إنَّ استراتيجية إسقاط الذيل تسمح لارتباط منفرد باحتكار فضاء الرتل، مانعةً بقية الارتباطات من الوصول إلى ذلك الفضاء. هذه الظاهرة عادةً ما تحدث نتيجة للتزامن أو للتأثيرات الزمنية الأخرى.

يعرف الاختناق (congestion) بأنه الامتلاء المفرط "filled to excess" أو الازدحام الشديد "overcrowded". على الرغم من أن أفضل حلول الاختناق هو تلافي حدوثه زماناً ومكاناً إلا أن هذه الإستراتيجية ليست ممكنة دوماً. لسوء الحظ، إنَّ الاختناق يحدث في العديد من مواقع ربط الشبكات بسبب وجود ما يسمى بعنق الزجاجة (bottleneck) في العديد من مفاصل الشبكات الحاسوبية، كالحاسوب البطيء، والوصلات ذات السرعة المنخفضة، والعقد الوسطية ذات الطاقة الإنتاجية المنخفضة (low throughput intermediate nodes) [1].

الاختناق في شبكات الحاسوب هو حالة انخفاض الأداء بسبب حالة الإشباع التي تصل إليها مصادر الشبكة، كوصلات الاتصال (communication links)، ودورات المعالج (processor cycles) وحواجز الذاكرة (memory buffer). يمكن تصور الاختناق بأنه مشكلة شراكة بين المصادر (sources-sharing problem). عندما يتنافس عدد كبير من الرزم (packets) على وصلة الاتصال نفسها، سوف تحصل عملية فيضان لرتل المعلومات (queue overflow) وإسقاط للرزم (packets dropping)، عندئذٍ توصف الشبكة بالمختنقة (congested network). معظم الشبكات تزود بالية التحكم بالاختناق للتعامل مع حالة اختناق الشبكة بالشكل الذي يضمن تحسين الخدمة لمستخدمي شبكات الحاسوب [2].

على الرغم من فعالية استخدام ميكانيكية التحكم بالاختناق وضرورته في بروتوكول التحكم بالإرسال (TCP)، إلا أنَّها تبدو غير صالحة في توفير الخدمة الجيدة في الظروف كلها، خاصةً مع النمو المتسارع لحجم دعم

**ب- الرتل الممتلئ (full queue):**

تسمح استراتيجية إسقاط الذيل للأرتال أن تبقى على حالة الامتلاء، إذ إنها تقوم بإرسال الإعلام بالاختناق فقط عندما يكون الرتل ممتلئاً. بموجب هذا الإعلام سوف تقوم الأطراف المرسله بخفض معدل الإرسال في وقت واحد، مما يؤدي إلى حدوث ظاهرة غير مرغوب بها هي ظاهرة التزامن العام (global synchronization) الذي يؤدي إلى زيادة في التأخير وانخفاض في مستوى استخدام وصلات الشبكة (lower link utilization).

من هنا دعت الضرورة إلى وجود الرتل بالحجم الصغير داخل حاجز الرتل للموجه (router queue buffer) للإبقاء على سعة كافية لاستيعاب التدفق المفاجئ للمعلومات. الظاهرة الأولى (lock-out) عُولِجَتْ باستخدام تقنيتي الإسقاط العشوائي عند الامتلاء (random drop on full) وإسقاط المقدمة عند الامتلاء (drop front on full)، ففي الأولى تُسَقَطُ الرزم عشوائياً، أما في الثانية فَتُسَقَطُ الرزمة الأمامية عند وصول رزمة جديدة. التقنيتان وضعنا حداً لظاهرة الطرد لكنهما لن تتمكننا من معالجة ظاهرة الرتل الممتلئ [4].

اقْتَرِحَ الحل لظاهرة الرتل الممتلئ من قبل الباحثين وذلك بقيام الموجه بإسقاط الرزم أو مرورها وفق آلية احتمالية الإسقاط/المروور (dropping/markings probability) قبل امتلاء فضاء الرتل، لذلك فإن العقد النهائية (end nodes) سوف تستجيب للاختناق قبل فيضان الحاجز (buffer overflow)، تسمى هذه التقنية بإدارة الرتل الفعال (active queue management) [5].

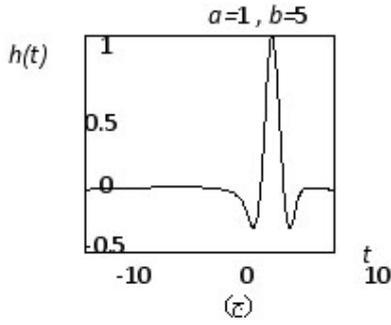
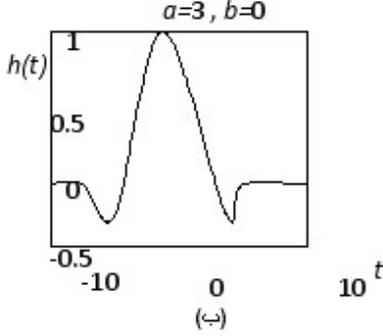
قام بعض الباحثين بتحليل أداء الشبكات بالاعتماد على نظريات السيطرة، كمتحكم PI والمتحكم PID. هذه النظريات قادت الباحثين للبحث في مجال التحكم بالاختناق ضمن التقنية المشتركة لإدارة الرتل الفعال

وبروتوكول التحكم بالإرسال (TCP/AQM). اقترحت الدراسة [6] خوارزمية لإدارة الرتل الفعال بالاعتماد على المتحكم التكيفي (adaptive PID) الذي اعتمد بدوره على الخلايا العصبونية لتشكيل المتحكم (ANPID). اعتمدت توليف متغيرات المتحكم على تنظيم عامل الوزن (weighted factor) استناداً إلى قيمة خطأ النظام (system error). أظهرت النتائج، بأن المتحكم (ANPID) يستطيع التحكم بطول الرتل (queue length) وإبقاءه قريباً للقيمة المطلوبة (desired value) مع بعض التذبذب الذي يرافق العملية ضمن ظروف مرور مختلفة (various traffic conditions).

قدمت الدراسة [7] نوعاً جديداً من تقنيات إدارة الرتل الفعال تعتمد على المتحكم PI المكيف المستقر SAPI (stable adaptive PI). تكيف متغيرات المتحكم PI اعتمدت على متغيرات الشبكة التخمينية (estimated network parameters) لتحسين أداء الاستجابة العابرة (transient response) مع قيمة كسب ثابتة (fixed gain) للمتحكم PI. أظهرت نتائج المحاكاة النتائج المقنعة للاستجابتين العابرة (transient response) والمستقرة (steady state response) رغم ظروف زحام الشبكة (affic loads).

اعتمدت الدراسة [8] شبكة المويجة (avelet network) في إدارة الرتل الفعال. استند توليف المتغيرات إلى تكيف مقدار التعلم [active Learning Rate] (ALR). أظهرت النتائج أن الخوارزمية المقترحة كانت أكثر تكيفاً من المتحكم PID.

تضمنت دراسة أخرى [9] خوارزمية جديدة لإدارة الرتل الفعال صُمِّمَتْ لتتلاءم مع الشبكة ذات السرعة العالية (high-speed network) معتمدة على التقنية المشتركة



الشكل (1) موجة مورلت مع النسخ المعدلة منها

المتغيران الرئيسان لهذه الموجة هما، سعة الموجة الذي يسمى (dilation) ويرمز له بالرمز  $a$ ، وموقع الموجة بالنسبة إلى محور الوقت (time axes) ويسمى (translation) ويرمز له بالرمز  $b$ . يوضح الشكل (1- أ) الدالة الرئيسة وتسمى بالدالة الأم (mother function). عند تغيير سعة هذه الدالة، أي تغيير المتغير  $a$  أو تغيير موقع الدالة بالنسبة إلى محور الوقت أي المتغير  $b$  أو تغيير كليهما ( $a$  &  $b$ )، فسوف نحصل على نسخ معدلة من الدالة الأم (modified version of mother function). تسمى كل نسخة معدلة من الدالة الأم بالدالة البنت (daughter function). يمثل الشكل (1- ب، ج) النسخ المعدلة من الدالة الأم. إن محول الموجة (wavelet transform) لكل دالة  $f$  إذ:

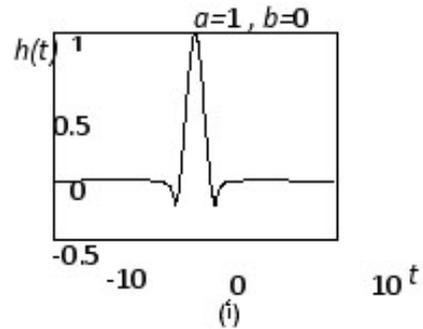
$$f \in L^2(\mathbb{R})$$

يمكن أن يمثل بالمعادلة الآتية:

لإدارة الرتل الفعال وبروتوكول التحكم بالإرسال ذي السرعة العالية (HSTCP/AQM). اعتمد تصميم متحكم إدارة الرتل الفعال على الشبكة العصبونية الجينية (genetic neural network) وكذلك على متحكم PID الذكي (intelligent PID). صُمم المتحكم على جزئين، الأول اعتمدت فيه الشبكة العصبونية لتكييف متغيرات المتحكم PID، والثاني اعتمدت فيه الخوارزمية الجينية لتكييف معامل الوزن (weight factor).

## 2. أساسيات نظرية الموجة

المصطلح "موجة" (wavelet) كما هو مضمونه، عبارة عن موجة صغيرة (little wave). هذه الموجة الصغيرة يجب أن تمتلك خواصاً معينة تؤهلها للاستخدام بما يسمى محول الموجة (wavelet transform). هذه الخواص هي: أولاً، أن تحتوي على مقدار ولو قليلاً من التذبذب (must have minimum oscillation). ثانياً، يجب أن تكون ذات انحدار سريع نحو الصفر (fast decay to zero) وبكلا الاتجاهين، السالب والموجب [10]. يوضح الشكل (1) نموذجاً لموجة تسمى موجة مورلت (Morlet wavelet) نسبة إلى مكتشفها جين مورلت (Jean Morlet) سنة 1984 [11].



يعتمد اختيار الدالة الأم على نوع الإشارة الداخلة إلى النظام. إذا كانت الإشارة الداخلة تمثل دالة لمتغير واحد، فسوف تكون الدالة الأم ذات متغير واحد (one variable mother function) وكالاتي:

$$h_{a,b}(t) = h\left(\frac{t-b}{a}\right) \quad \dots (2)$$

أما إذا كانت الإشارة الداخلة تمثل دالة لمتغيرين، كما في إشارة الصورة ذات البعدين، عندئذٍ سوف تكون الدالة الأم ذات متغيرين (two variables mother function)، وكما يأتي:

$$h_{a,b}(t_1, t_2) = h\left(\frac{t_1-b}{a}, \frac{t_2-b}{a}\right) \quad \dots (3)$$

إذ إن:

a: عامل التوسع (dilation factor)  $0 < a$

b: عامل الانتقال (translation factor)

الإشارة المقربة (approximated signal)  $y(t)$  يمكن تمثيلها بالمعادلة الآتية [11]:

$$y(t) = u(t) \times \sum_{k=1}^K w_k h_{a_k, b_k}(t) \quad \dots (4)$$

إذ،  $u(t)$ : إشارة الدخل (input signal).

k: عدد نوافذ الموجة.

w: عامل الوزن (weight factor).

والآن بات من الضروري مناقشة كيفية تكيف متغيرات شبكة الموجة بالكيفية التي توصلنا إلى الإشارة المطلوبة.

## 2.2. خوارزمية شبكة الموجة

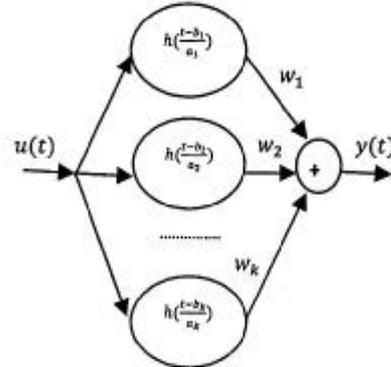
إن متغيرات شبكة الموجة ( $w_k, a_k, b_k$ ) يمكن تكيفها باستخدام خوارزمية مربع المعدل الأقل (Least Mean Square algorithm)، وذلك بإجراء عملية تقليل (minimizing) لدالة الخطأ، أو ما تسمى بدالة

$$W_f(a, b) = \int_{-\infty}^{\infty} f(t) h_{a,b}(t) dt \quad \dots (1)$$

أي إن محول الموجة لأي دالة يمثل تكامل تلك الدالة مع مجموعة من النسخ المعدلة للموجة الأم (daughter functions) التي نحصل عليها من تغيير المتغير  $a$ ،  $b$  للدالة الأم.

## 1.2. التركيب البنوي لشبكة الموجة

إن دمج المفهوم النظري لمحول الموجة (Wavelet transform) مع المفهوم الأساسي للشبكة العصبونية (Neural Network) سوف تنتج عنه شبكة جديدة تسمى بشبكة الموجة (Wavelet Network)، وفي تسمية أخرى يطلق عليها (Wavenet). استخدمت شبكة الموجة كبديل عن الشبكة العصبونية ذات التغذية الأمامية (feed forward neural network) لتقريب الدوال غير الخطية (non-linear function approximation). تستخدم شبكة الموجة الدالة الأم ( $h_{a,b}$ ) كدالة تفعيل (Activation Function) للشبكة العصبونية بدلاً من الدوال التقليدية المستخدمة فيها. الشكل (2) يوضح التركيب البنوي لشبكة الموجة [11].



الشكل (2) التركيب البنوي لشبكة الموجة

لتقريب دالة معينة ولتكن  $u(t)$ ، تولد مجموعة من الموجات المعدلة (daughter functions) من الموجة الأم (mother function) وذلك بتغيير المتغير  $a$  (dilation) والمتغير  $b$  (translation) للموجة الأم.

التغيرات التزايدية (Incremental Changes) لكل من  $(w, b, a)$  هي ببساطة عبارة عن قيمة الميل بالإشارة السالبة.

$$\Delta w = - \frac{\partial Ef}{\partial w} \quad \dots (12)$$

$$\Delta b = - \frac{\partial Ef}{\partial b} \quad \dots (13)$$

$$\Delta a = - \frac{\partial Ef}{\partial a} \quad \dots (14)$$

لذلك فإن متغيرات شبكة الموجة  $(w, b, \text{ and } a)$  يمكن تحديث قيمها بموجب القوانين الآتية:

$$w(n+1) = w(n) + m_w \Delta w \quad \dots (15)$$

$$b(n+1) = b(n) + m_b \Delta b \quad \dots (16)$$

$$a(n+1) = a(n) + m_a \Delta a \quad \dots (17)$$

إذ  $\mu$ ، تمثل معدل التعلم الثابت (Fixed Learning Rate).

### 3.2 شبكة الموجة مع بنية الاستجابة النبضية غير

#### المنتهية

إنَّ شبكة الموجة هي شبكة موضعية (local network) تتميز بكون دالة الخرج لها (output function) تتموضع في كلا المجالين الترددي والزمني (frequency and time domain). فضلاً عن ذلك فإنَّ الشبكة الموضعية المضاعفة (double local network) يمكن إنجازها بواسطة دمج التركيب البنوي لشبكة الموجة بالتعاقب مع شبكة الاستجابة النبضية غير المنتهية (IIR infinite impulse response network). إنَّ الحلقة المتكررة للاستجابة النبضية المتكررة (IIR recurrent loop) تقوم بإنشاء تركيب جديد قادر على تدريب النظام بشكل حسابي مناسب، والوصول الأسرع إلى الدقة المطلوبة المتمثلة بمعيار

الطاقة (Energy Function)  $E_f$ ، على طول المدة الزمنية للدالة  $(T)$ ، ويجري ذلك بدلالة دالة الخطأ المتغير مع الزمن (Time-Varying Error Function)  $e(t)$ ، والتي يمكن تمثيلها بالمعادلة الآتية:

$$e(t) = u(t) - y(t) \quad \dots (5)$$

إن دالة الطاقة يمكن تمثيلها بالمعادلة الآتية:

$$Ef = \frac{1}{2} \sum_{t=1}^T e^2(t) \quad \dots (6)$$

وبذلك فإن معادلة دالة الطاقة يمكن أن تأخذ الشكل الآتي:

$$Ef = \frac{1}{2} \sum_{t=1}^T (u(t) - y(t))^2 \quad \dots (7)$$

لتقليل قيمة دالة الطاقة  $E_f$  إلى الحد الأدنى، فإن نظرية الانحدار الحاد (Steepest descent method) يمكن استخدامها لهذا الغرض، التي تتطلب حساب الميول (gradients) الآتية،

$$\left( \frac{\partial Ef}{\partial b_k}, \text{ and } \frac{\partial Ef}{\partial a_k}, \frac{\partial Ef}{\partial w_k} \right) \text{ وذلك}$$

لتحديث قيم المتغيرات  $(b_k, a_k, w_k)$ .

الميل لدالة الطاقة  $E_f$  بدلالة المتغيرات

$(b_k, a_k, w_k)$  سوف يكون كما يأتي [11]:

$$\frac{\partial Ef}{\partial w_k} = - \sum_{t=1}^T e(t) h(t) u(t) \quad \dots (8)$$

$$\frac{\partial Ef}{\partial b_k} = - \sum_{t=1}^T e(t) u(t) w_k \frac{\partial h(t)}{\partial b_k} \quad \dots (9)$$

$$\frac{\partial Ef}{\partial a_k} = - \sum_{t=1}^T e(t) u(t) w_k t \frac{\partial h(t)}{\partial b_k} = t \frac{\partial Ef}{\partial b_k} \quad \dots (10)$$

إذ إنَّ:

$$t = \frac{t - b_k}{a_k} \quad \dots (11)$$

M: عدد مرات التأخير للتغذية الأمامية (number of feed-forward delays).

c: معامل التغذية الأمامية لمرشح الاستجابة النبضية غير المنتهية (feed-forward coefficient of the IIR filter).

N: عدد مرات التأخير للتغذية العكسية (number of feed-back delays).

d: معامل التغذية العكسية لمرشح الاستجابة النبضية غير المنتهية (feed-back coefficient of the IIR filter).

u(t): إشارة الدخل (input signal).

v(t): إشارة الدخل الخارجية (co-input) التي عادة ما تكون ذات قيمة صغيرة لغرض الحفاظ على استقرارية التغذية العكسية (feedback stability purposes).

الميل لدالة الطاقة  $E_f$  بدلالة المتغيرات (wk, ak, bk, ci, and dj) سوف يكون كما يأتي:

$$\frac{\partial E}{\partial w_k} = - \sum_{t=1}^T u(t) e(t) \sum_{i=0}^M c_i h(\tau - i) \quad \dots (20)$$

$$\frac{\partial E}{\partial b_k} = - \sum_{t=1}^T u(t) e(t) \sum_{i=0}^M c_i w_k \frac{dh(\tau - i)}{db_k} \quad \dots (21)$$

$$\frac{\partial E}{\partial a_k} = - \sum_{t=1}^T u(t) e(t) \sum_{i=0}^M c_i \tau w_k \frac{dh(\tau - i)}{db_k} = \tau \frac{dE}{db_k} \quad \dots (22)$$

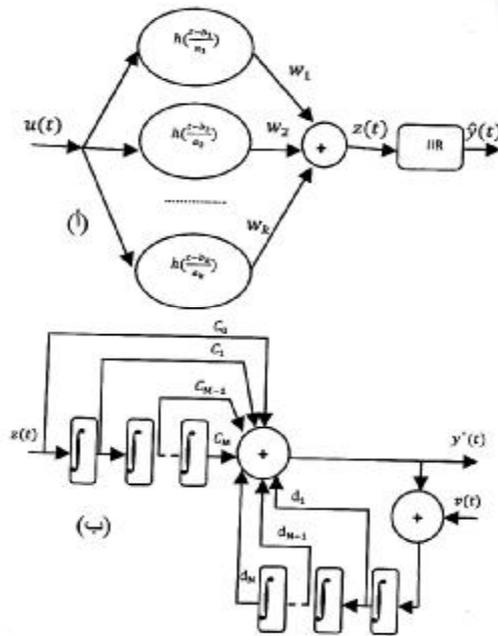
$$\frac{\partial E}{\partial c_1} = - \sum_{t=1}^T u(t) e(t) z(t - \bar{i}) \quad \dots (23)$$

$$\frac{\partial E}{\partial d_j} = - \sum_{t=1}^T v(t) e(t) y^{\wedge}(t) \quad \dots (24)$$

التغيرات التزايدية (Incremental Changes) لكل من (w, a, b, c, and d) هي ببساطة عبارة عن قيمة الميل بالإشارة السالبة.

$$\Delta w = - \frac{\partial E}{\partial w}, \Delta b = - \frac{\partial E}{\partial b}, \Delta a = - \frac{\partial E}{\partial a},$$

الخطأ الأقل (minimal error criterion). الشكل (3-أ) يمثل تركيب شبكة الموجة المتكيفة بواسطة الاستجابة النبضية غير المنتهية (IIR adaptive wavelet network structure). الشكل (3-ب) يمثل بنية نموذج الاستجابة النبضية غير المنتهية (IIR model structure).



الشكل (3) شبكة الموجة مع نموذج IIR.

(أ) بنية شبكة الموجة. (ب) نموذج IIR

الإشارة المقربة  $y^{\wedge}(t)$  يمكن الحصول عليها باستخدام المعادلة الآتية [11]:

$$\hat{y}(t) = \sum_{i=0}^M c_i z(t - i) u(t) + \sum_{j=1}^N d_j \hat{y}(t - j) v(t) \quad \dots (18)$$

إذ إن:

$$z(t) = \sum_{k=1}^K w_k h_{a_k, b_k}(t) \quad \dots (19)$$

K: عدد النوافذ (nodes) المستخدمة في عملية التقريب.

Wk: عامل الوزن (weight factor).

إذ إن:

$$G_{TCP}(s) = \frac{R_0 C^2}{s + \frac{2N}{R_0^2 C}} \quad \dots (29)$$

$$G_{queue}(s) = \frac{N}{s + \frac{1}{R_0}} \quad \dots (30)$$

إذ إن:

C: قدرة الوصلة ((link capacity (packets/sec)).

N: عامل الحمل (عدد جلسات نظام السيطرة على

الإرسال). (Number of TCP sessions).

P: احتمالية إسقاط الرزمة أو مرورها (probability

(of mark/drop

t: عامل الزمن (time).

R<sub>0</sub>: وقت رحلة الذهاب والإياب للرزق (round trip-

(time(sec)). إذ:

$$R_0 = \left( \frac{L}{C} + T_p \right) \quad \dots (31)$$

T<sub>p</sub>: تمثل زمن التأخير المتولد (propagation delay

(sec))

q: طول الرتل المتوقع (queue length).

#### 4. المتحكم التكيفي PID المدعم بشبكة الموجة)

##### (AWNPID)

للتدرج في عملية بناء نموذج المتحكم التكيفي PID

المدعم بشبكة الموجة (AWNPID) للتحكم بإدارة

الرتل الفعال AQM نتبع ما يأتي:

يمكن تمثيل ديناميكية النظام ذي الدخل المفرد والخرج

المفرد (SISO) بمعادلات الحالة (state equations)

الآتية:

$$x(k+1) = f(x(k), u(k), k) \quad \dots (32)$$

$$y(k) = g(x(k), k) \quad \dots (33)$$

$$\Delta c = -\frac{\partial E}{\partial c}, \Delta d = -\frac{\partial E}{\partial d} \quad \dots (25)$$

لذلك فإن متغيرات شبكة الموجة (w, b, and a) يمكن

تحديث قيمها بموجب المعادلات (15, 16, 17).

وبموجب ما تقدم فإن تحديث قيم المتغيرين (c and d)

سوف يجري وفق المعادلتين الآتيتين:

$$c(n+1) = c(n) + \mu_c \Delta c \quad \dots (26)$$

$$d(n+1) = d(n) + \mu_d \Delta d \quad \dots (27)$$

إذ μ، تمثل معدل التعلم الثابت (Fixed Learning

(Rate

### 3. نموذج إدارة الرتل الفعال في بروتوكول التحكم

#### بالإرسال (TCP/AQM Model)

أُجريت عملية تحليل إدارة الرتل الفعال (AQM) على

نطاق واسع بالاعتماد على طرق نظريات التحكم. اعتماد

تلك الطرق أدى إلى التحكم بالاختناق بصورة مستقرة،

فعالة، وممتينة. في المصدر [12] بُني النموذج الديناميكي

اللا خطي لمجموعة من التدفقات في بروتوكول التحكم

بالإرسال (TCP flows) على أساس نظرية تدفق

السائل، وذلك لبناء النموذج التفاعلي لمجموعة من

التدفقات في بروتوكول التحكم بالإرسال وموجهات إدارة

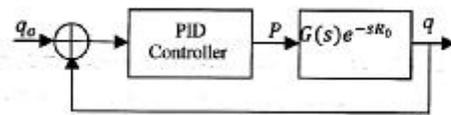
الرتل الفعال (AQM routers) في الشبكات الحاسوبية.

من خلال المصدر [13] بُني النموذج الخطي لنموذج

إدارة الرتل الفعال في بروتوكول التحكم بالإرسال

(TCP/AQM model). الشكل (4) يمثل النموذج

الخطي (linearized model) لنظام TCP/AQM.



الشكل (4) المخطط الكتلي لنظام التحكم AQM

$$G(s) = G_{TCP}(s) \cdot G_{queue}(s) \quad \dots (28)$$

المتضمنة (عامل الوزن  $w_k$ ، وعامل التوسع  $a_k$ ، وعامل الانتقال  $b_k$ ، ومعامل التغذية الأمامية للاستجابة النبضية  $c_k$ ، ومعامل التغذية العكسية للاستجابة النبضية  $d_k$ ) وهذه البرامترات متمثلة بكل من  $\theta_\phi$ ،  $\theta_f$  على التوالي، فإن فعل التحكم (control action) للتحكم PID المتمثل بالمتغير  $u(t)$  والذي يقوم بتتبع إشارة الخرج المطلوبة  $r(k+1)$  يمكن الحصول عليه من المعادلة الآتية:

$$u(k) = u(k-1) + P[\varepsilon(k) - \varepsilon(k-1)] + I\varepsilon(k) + D[\varepsilon(k) - 2\varepsilon(k-1) + \varepsilon(k-2)] \dots \quad (39)$$

إذ إن:  $P$ ,  $I$ ,  $D$  تمثل معاملات الكسب النسبية، التكاملية، والتفاضلية (Proportional, Integral, Differential) و  $u(k)$  تمثل إشارة الدخل للنموذج (gain) TCP/AQM (plant) في كل مدة زمنية قيمتها  $KT$ ، إذ  $T$  تمثل العينة الزمنية للتقطيع (interval)  $\varepsilon(k)$  أما المتغير  $\varepsilon(k)$  فيمكن حسابه من المعادلة الآتية:

$$\varepsilon(k) = r(k) - y(k) \quad \dots (40)$$

إذ تمثل  $r(k)$ ،  $y(k)$  إشارتي الدخل والخرج (input and output) على التوالي.

المتغيرات  $P$ ,  $I$ ,  $D$  تعد جزءاً من دالة الطاقة (Energy function  $E_f$ ) التي تُحدَّث قيمتها بموجب المعادلة (6)، وبذلك فإن تحديث قيم المتغيرات  $P$ ,  $I$ ,  $D$  سوف يكون وفقاً للمعادلات الآتية:

$$P(k) = P(k-1) + \mu_P \varepsilon(k) \Gamma(k) (\varepsilon(k) - \varepsilon(k-1)) \quad (41)$$

$$I(k) = I(k-1) + \mu_I \varepsilon(k) \Gamma(k) \varepsilon(k) \quad \dots (42)$$

$$D(k) = D(k-1) + \mu_D \varepsilon(k) \Gamma(k) (\varepsilon(k) - 2\varepsilon(k-1) + \varepsilon(k-2)) \quad \dots (43)$$

$$\varepsilon(k) = y(k) - \hat{y}(k) \quad \dots (44)$$

إذ:  $u(k), y(k) \in R$ ،  $x(k) \in R^n$ ، نفرض أن الدوال المجهولة (unknown functions)  $f, g \in C^1$

إن البيانات الوحيدة سهلة الوصول (accessible data) تتمثل بإشارة الدخل ( $u$ ) وإشارة الخرج ( $y$ ). إذا كان النظام المقرب إلى الحالة الخطية (linearized system) حول حالة التوازن (equilibrium state) تمكن ملاحظته (observable)، فإن تمثيل إشارة الدخل والخرج (input-output representation) يكون موجوداً بالصيغة الآتية [11]:

$$y(k+1) = \phi(y(k)) + \Gamma(y(k)) \cdot u(k) \quad \dots (34)$$

إذ:  $y(k), u(k)$  يمثلان إشارة الدخل والخرج في لحظة ( $K$ ) من الزمن.

إذا كانت كل من  $\phi(\cdot)$ ،  $\Gamma(\cdot)$  مجهولة، فإن الفكرة تتجسد باستخدام نموذج الشبكة العصبونية للموجات المتكيفة (Neural network adaptive wavelets model) لتقريب ديناميكية النظام (system dynamic). وهذا يقودنا إلى ما يأتي:

$$\hat{y}(k+1) = \hat{\phi}(y(k), \theta_\phi) + \hat{\Gamma}(y(k), \theta_\Gamma) u(k) \quad \dots (35)$$

بمقارنة المعادلة (35) مع المعادلة (18) نستنتج ما يأتي:

$$\hat{\phi}(y(k), \theta_\phi) = \sum_{j=1}^N a_j \phi(k-j) v(k) \quad \dots (36)$$

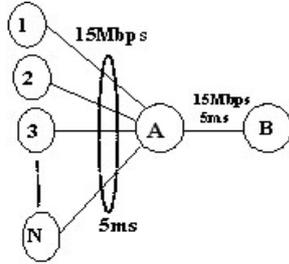
$$\hat{\Gamma}(y(k), \theta_\Gamma) = \sum_{i=0}^N c_i \varepsilon(k-i) \quad \dots (37)$$

إذ إن:

$$\varepsilon(k) = \sum_{i=1}^N w_i h\left(\frac{k-\theta_i}{\alpha_i}\right) \quad \dots (38)$$

بعد أن قُرِّبَت العناصر اللاخطية  $\phi(\cdot)$ ،  $\Gamma(\cdot)$  بواسطة دالتي الخلية العصبونية  $\hat{\phi}(\cdot)$ ،  $\hat{\Gamma}(\cdot)$  بمساعدة برامترات قابلة للتعديل (adjustable parameters)،

200 (queue size) التحكم به في فضاء الموجه يساوي (packets) ، وزمن التأخير المتولد (propagation) (time delay  $T_p$ ) يساوي (5ms) . عدد جلسات بروتوكول التحكم بالإرسال (number of TCP sessions (N) يساوي (60 nodes) لكل من المصدر والمال (source and destination) . اعتمدت آلية Awnpid للتحكم في إدارة الرتل الفعال داخل الموجه (A) ، فيما اعتمدت آلية إسقاط الذيل (Tail Drop) في بقية البوابات (gateways) .



الشكل (6) طوبوغرافية الشبكة المقترحة

## 6. نتائج المحاكاة باستخدام المحاكى NS2

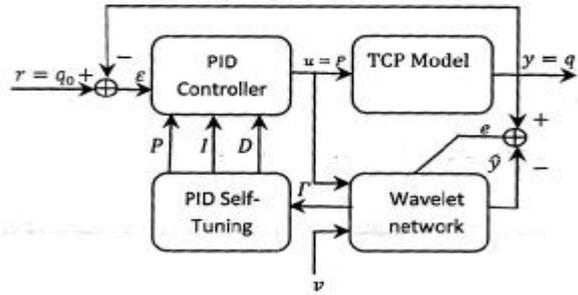
### (Network System 2 Simulator)

في هذه الفقرة نستعرض نتائج المحاكاة للشبكة المقترحة في الفقرة (5) باستخدام المحاكى NS2 ، ولثلاثة أنواع من المتحكمات وهي، المتحكم اللا تكيفي PI، والمتحكم اللا تكيفي PID، والمتحكم التكيفي Awnpid ، مع دراسة تأثير كل عامل من عوامل الشبكة في استجابة كل نوع من أنواع المتحكمات الثلاثة.

يوضح الجدول (1) متغيرات المتحكمات الثلاثة التي تمت بموجبها محاكاة الشبكة. يوضح الشكل (7) أداء المتحكمات الثلاثة (Awnpid، PID، PI) للمحافظة على طول الرتل المطلوب وجوده في فضاء الموجه (router space) وفقاً لمعطيات الشبكة في الفقرة (5).

$\Gamma$  تأتي قيمتها من المعادلة (37) ،  $\mu$  تمثل معدل التعلم الثابت (fixed learning rate) لكل من التغيرات المتكيفة (P,I,D)

الشكل (5) يوضح المخطط الكتلي للمتكم التكيفي PID المدعم بشبكة المويجة (Awnpid) لإدارة الرتل الفعال في شبكة التحكم بالإرسال (TCP/AQM).



الشكل (5) المخطط الكتلي للمتكم Awnpid في شبكة التحكم بالإرسال TCP/AQM

## 5. طوبوغرافية الشبكة المقترحة ( Proposed )

### (Network Topology)

يوضح الشكل (6) الشبكة التي اعتمدت كحالة تُدرَس (case study) . نُجرى المحاكاة على شبكة تتكون من وصلة وحيدة (single link) أو ما تسمى بوصلة عنق الزجاجة (bottle link) ، ذات سعة إرسال (bandwidth capacity (C) ) ، إذ  $C=3750$  Packet/sec (مايعادل (15 Mb/sec) وبحجم (500) bytes لكل رزمة (packet) . وصلات الشبكة جميعها متساوية من حيث سعة الإرسال (C) . وقت رحلة الذهاب والإياب (Round trip time  $R_0$ ) يساوي 0.218 (second) الذي يُحسبُ وفق المعادلة (31) ، إذ إنَّ القيمة القصوى المقترحة لطول الرتل (maximum queue length) بالنسبة إلى الموجه الأول (A) كانت مساوية إلى (800 packets) وحجم الرتل المطلوب (length desired)

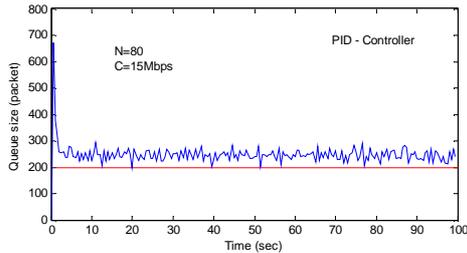
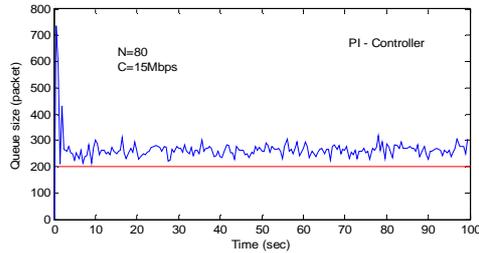
الجدول (2) معدل طول الرتل والانحراف المعياري له

لمتحكمات AQM

Controller	Mean	Standard Deviation
PI	220.68	45.59
PID	223.43	41.75
AWNPID	208.26	41.01

1.6. دراسة تأثير عامل الحمل  $N$  (Load Factor)

لدراسة تأثير عامل الحمل  $N$  (Load Factor) في أداء المتحكمات الثلاثة في الشبكة الحاسوبية في الحفاظ على طول الرتل المطلوب، أُجريت التجارب الآتية:  
التجربة 1: زيادة العامل  $N$  بمقدار 33% (من  $N=60$  إلى  $N=80$ ). الشكل (8) يوضح أداء متحكمات AQM وفقاً للمعطيات الجديدة. الجدول (3) يعكس إمكانية كل متحكم في الحفاظ على طول الرتل المطلوب.



الشكل (8) أداء متحكمات إدارة الرتل الفعال وفقاً لمعطيات التجربة 1

الجدول (3) معدل طول الرتل والانحراف المعياري له لمتحكمات AQM

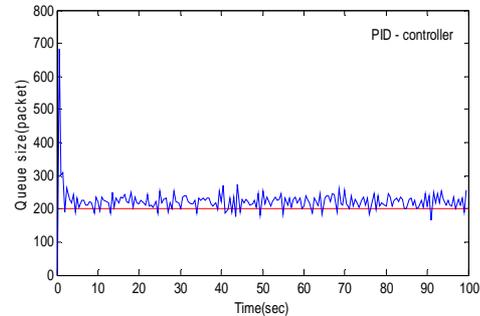
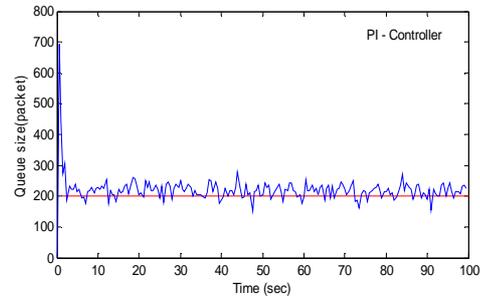
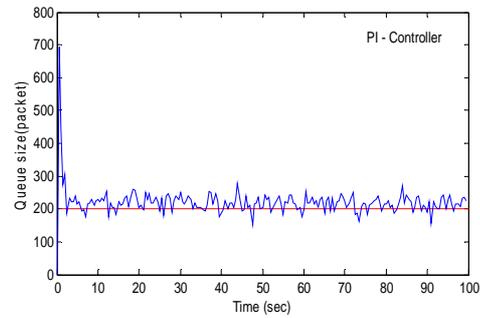
(تجربة 1)

Controller	Mean	Standard Deviation
PI	264.88	50
PID	247.55	40.66
AWNPID	221.06	37.48

يبين الجدول (2) معدل طول الرتل مع الانحراف المعياري له لمتحكمات AQM.

الجدول (1) متغيرات متحكمات إدارة الرتل الفعال

Controller	Parameters
PI	$K_p=1.6e-4$ , $K_i=1.6e-4$
PID	$K_p=6e-6$ , $K_i=6e-5$ , $K_d=6e-5$
AWNPID	$P=1e-3$ , $I=2.5e-6$ , $D=1e-3$ , $\mu_p=5e-1$ , $\mu_I=1.125e-11$ , $\mu_D=8e-1$ , $c=0.025$ , $d=0.015$ , $v=0.01$ , $\mu_a=\mu_b=\mu_w=\mu_c=\mu_d=1e-4$ , $M=2$ , $N=2$ , $K(\text{No. of nodes})=3$ , $a(\text{dilation})=2$



الشكل (7) أداء متحكمات وفقاً لمعطيات الشبكة في الفقرة (5) AQM

الجدول (4) معدل طول الرتل والانحراف المعياري له  
لمتحكمات AQM (تجربة 2)

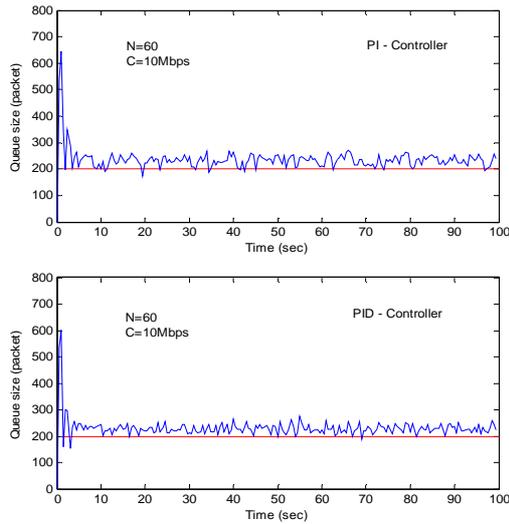
Controller	Mean	Standard Deviation
PI	260.59	92.56
PID	246.31	75.88
AWNPID	218.59	45.88

من خلال الشكل (9) والجدول (4) يمكن ملاحظة أفضلية المتحكم AWPID في الحفاظ على طول الرتل المطلوب مقارنة بالمتحكمين الآخرين.

## 2.6. دراسة تأثير عامل سعة الإرسال C (Link Capacity)

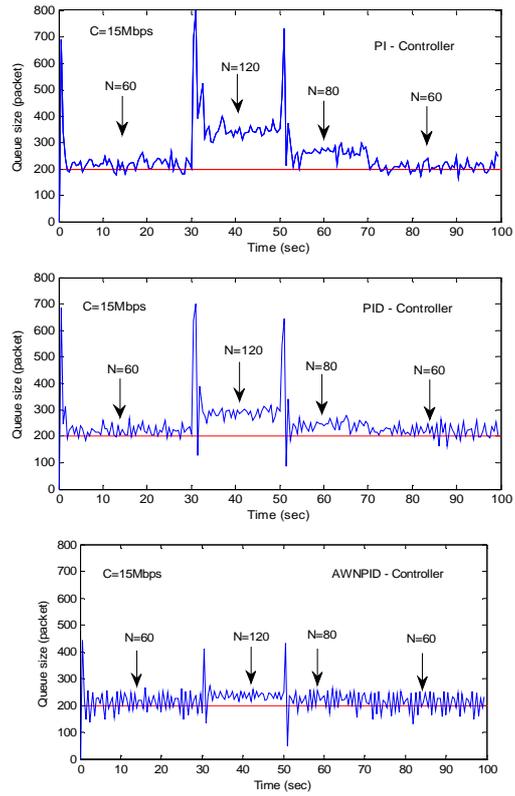
لدراسة تأثير عامل سعة الإرسال C في أداء المتحكمات الثلاثة في الشبكة الحاسوبية في الحفاظ على طول الرتل المطلوب، أُجريت التجارب الآتية:

**التجربة 3:** وفقاً لمعطيات الشبكة في الفقرة (5)، قُلِّل عامل الإرسال C (من C=15Mbps إلى C=10Mbps) يوضح أداء متحكمات AQM وفقاً للمعطيات الجديدة. الجدول (5) يعكس إمكانية كل متحكم في الحفاظ على طول الرتل المطلوب.

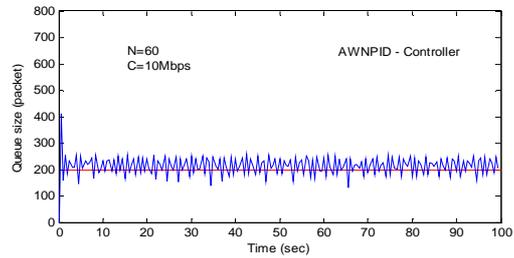
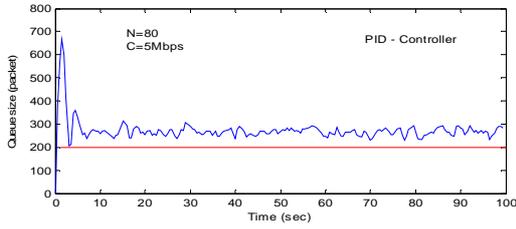


من خلال الشكل (8)، يمكن ملاحظة أداء المتحكمات الثلاثة، مع أداء أفضل للمتكم AWPID في الحفاظ على طول الرتل قريباً من القيمة المطلوبة. الجدول (3) يعزز ذلك من خلال ملاحظة معدل طول الرتل والانحراف المعياري له.

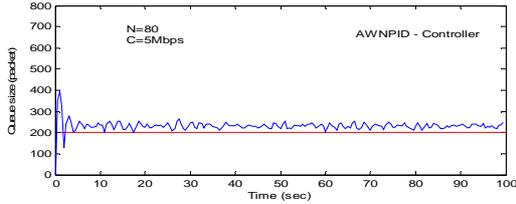
**التجربة 2:** في هذه التجربة اختبرت الشبكة تحت تأثير التغيرات الديناميكية (dynamic TCP traffic load) ولعدة قيم من عامل الحمل N. حيث عُبِّرَ العامل N من 60، 80، 120، 60 ضمن المدد الزمنية 0، 30، 50، 70 وعلى التوالي مع تثبيت قيمة C (C=15). الشكل (9) والجدول (4) يوضحان نتائج التجربة.



الشكل (9) أداء متحكمات إدارة الرتل الفعال وفقاً لمعطيات التجربة 2.



الشكل (10) أداء متحكمات إدارة الرتل الفعال وفقاً لمعطيات لتجربة 3 .



الشكل (11) أداء متحكمات إدارة الرتل الفعال وفقاً لمعطيات

#### التجربة 4

الجدول (6) معدل طول الرتل والانحراف المعياري له

لمتحكمات AQM (تجربة 4)

Controller	Mean	Standard Deviation
PI	303.40	70.76
PID	271.83	51.56
AWNPID	231.92	26.55

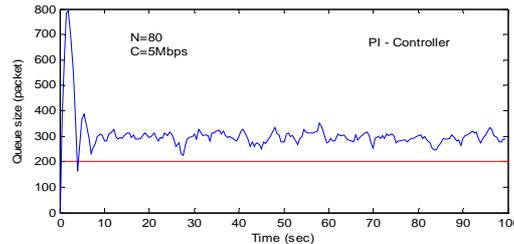
من خلال الشكل (11) يمكن ملاحظة أفضلية المتحكم AWPID في المحافظة على طول الرتل قريباً من القيمة المطلوبة مقارنةً بالمتحكمين الآخرين. مع ملاحظة انخفاض نسبة التذبذب الملموسة في المتحكم AWPID، التي تنعكس بشكل واضح من خلال انخفاض قيمة الانحراف المعياري في الجدول (6). من الجدير بالملاحظة أن المتحكم AWPID لا يتجاوز في وصوله إلى أعلى قمة (overshoot) حدود 400 رزمة تقريباً وفي الحالات جميعها، على عكس ما نلاحظه في المتحكمين الآخرين إذ يصل الرقم إلى 700 رزمة.

الجدول (5) معدل طول الرتل والانحراف المعياري له لمتحكمات AQM (تجربة 2)

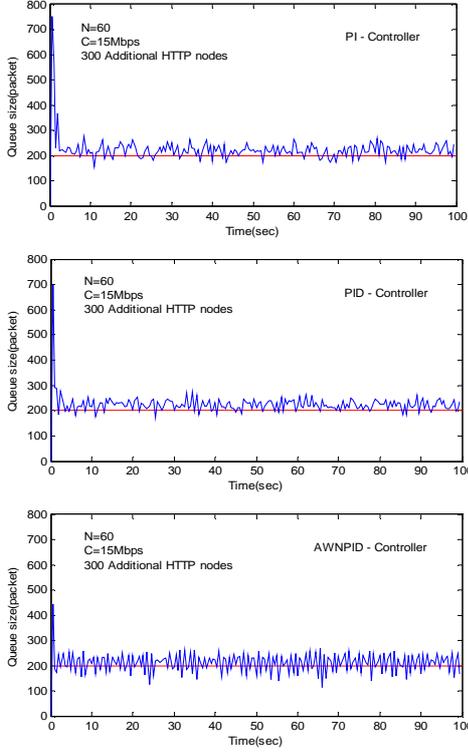
Controller	Mean	Standard Deviation
PI	235.16	45.28
PID	246.31	41.82
AWNPID	213.83	36.29

بموجب المعادلة (31) فإن تقليل سعة الإرسال تعني زيادة عامل الوقت RTT (Round Trip Time) مع زيادة احتمالية إسقاط الرزم. و يظهر ذلك جلياً من خلال مقارنة قيم الانحراف المعياري للمتحكم AWPID في الجدولين (2) و (5) وملاحظة قلة التذبذب في الشكل (10) مقارنةً بالشكل (7). ما تقدم، يظهر أكثر وضوحاً في التجربة 4.

**التجربة 4:** في هذه التجربة، قلَّ عامل الإرسال C (من C=5Mbps إلى C=15Mbps) مع زيادة عامل الحمل إلى N=80. الشكل (11) يوضح أداء متحكمات AQM وفقاً للمعطيات الجديدة. الجدول (6) يعكس إمكانية كل متحكم في الحفاظ على طول الرتل المطلوب.



الحاصل في الشبكة وقابلية كل متحكم من متحكمات AQM في الحفاظ على طول الرتل المطلوب.



الشكل (12) أداء متحكمات إدارة الرتل الفعال وفقاً لمعطيات التجربة 5.

الجدول (7) معدل طول الرتل والانحراف المعياري له

لمتحكمات AQM (تجربة 5)

Controller	Mean	Standard Deviation
PI	222.56	53.19
PID	224.37	42.36
AWNPID	210.35	40.69

بالنظر إلى الشكل (12) والجدول (7)، نلاحظ عدم وجود تغيرات تذكر مع دخول 300 عقدة إضافية من نوع HTTP إذا ما قورنت النتائج بنتائج الشبكة المتمثلة بالشكل (7) والجدول (2)، علماً بأن الشبكتين لهما عامل الحمل N وسعة الإرسال C نفسه. هذا يعزز ما ذُكر مسبقاً بأن الارتباطات الإضافية من نوع HTTP تكون

### 3.6 دراسة تأثير العقد (nodes) الإضافية لكل من

#### بروتوكولي FTP و HTTP

لدراسة تأثير كل من بروتوكول نقل الملفات FTP (File Transfer Protocol) وبروتوكول نقل النصوص الفائقة HTTP (Hyper Text Transfer Protocol) في الشبكة الحاسوبية. ، لابدّ من معرفة مفهوم كل بروتوكول وميزاته.

يمتاز بروتوكول نقل الملفات FTP بكونه نظاماً ثنائي الاتجاه (Two-Way System)، إذ يستخدم في نقل الملفات (download) من الحاسوب الرئيسي (server) إلى حاسوب المستخدم (client) وكذلك إمكانية نقل (upload) الملفات من المستخدم إلى الحاسوب الرئيسي. يوصف تدفق المعلومات في هذا البروتوكول بكونه تدفقاً طويل الأمد (Long Lived Flow) لذلك يكون تأثيره واضحاً في الشبكة.

أما بروتوكول نقل النصوص الفائقة HTTP فإنه يمتاز بكونه نظاماً أحادي الاتجاه (One-Way System) إذ يستخدم في نقل (upload) الكتابة والصور والمعلومات الأخرى إلى الواجهة الرئيسية (Web Site). يوصف تدفق المعلومات في هذا البروتوكول بكونه تدفقاً قصير الأمد (Short Lived Flow) لذلك يكون تأثيره ضئيلاً في الشبكة [14]. يمكن ملاحظة ما تقدم من خلال التجريبتين (5، 6).

**التجربة 5:** تُدرَس من خلال هذه التجربة قابلية متحكمات AQM الثلاثة في التحكم بطول الرتل المطلوب تحت تأثير الاضطراب (disturbance) الحاصل من جراء تعرض الشبكة الحاسوبية المقترحة في الفقرة (5) لدخول 300 عقدة إضافية من نوع HTTP من الثانية 0 إلى النهاية . الشكل (12) والجدول (7) يعكسان التأثير

الجدول (8) معدل طول الرتل والانحراف المعياري له  
لمتحكمات AQM (تجربة 6)

Controller	Mean	Standard Deviation
PI	363.11	228.43
PID	298.12	127.07
AWNPID	228.27	54.89

بالنظر إلى النتائج المتمثلة بالشكل (13) والجدول (8) يمكن ملاحظة متانة المتحكم AWPID في الحفاظ على طول الرتل قريباً من القيمة المطلوبة رغم أوضاع المرور المختلفة للشبكة (Widely Various Traffic Conditions). على عكس ذلك نلاحظ الانحراف الواضح (Clear Fluctuation) للمتحكمين PI و PID عن القيمة المطلوبة.

من خلال التجريبتين (6،5) يمكن أن نلمس التأثير الواضح للارتباطات الإضافية من نوع FTP في الشبكة مقارنةً بالتأثير الضئيل للارتباطات الإضافية من نوع HTTP.

#### 4.6 دراسة تأثير العقد (nodes) الإضافية من نوع

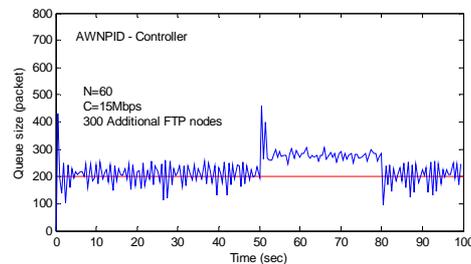
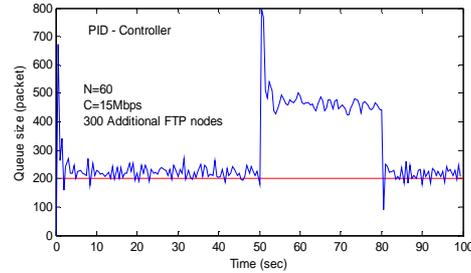
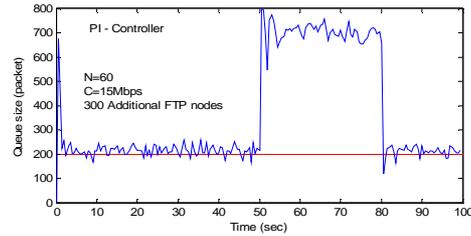
##### UDP

يوصف بروتوكول بيانات المستخدم UDP (User Datagram Protocol) بكونه بروتوكول نقل عديم الوصلة، أي لا يحتاج إلى إشعار بالاستلام، وهذا مغاير لما موجود في بروتوكول FTP الذي يوصف بكونه وصلي المنحى أي يحتاج إلى إشعار بالاستلام (Acknowledgment). تستخدم خدمات النقل عديمة الوصلة لإرسال الرسائل غير المهمة أو القصيرة التي يمكن إعادة إرسالها في حالة ضياعها، وتمتاز بأنها سريعة [15].

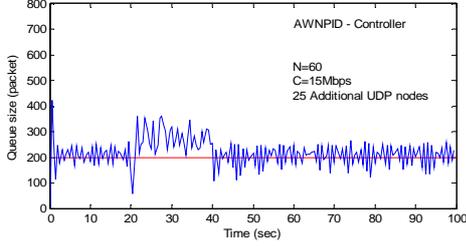
تقوم إدارة الرتل الفعال AQM بتنظيم عملية النقل في بروتوكول التحكم بالإرسال TCP وفقاً للاختناق الحاصل في الموجه (router)، ويجري ذلك عن طريق إسقاط أو

ذات تأثير ضئيل في الشبكة كونها ذات تدفق قصير الأمد (Short-Lived Flow).

التجربة 6: تُدرَسُ من خلال هذه التجربة قابلية متحكمات AQM الثلاثة في التحكم بطول الرتل المطلوب تحت تأثير الاضطراب (disturbance) الحاصل من جراء تعرض الشبكة الحاسوبية المقترحة في الفقرة (5) لدخول 300 عقدة إضافية من نوع FTP خلال المدة الزمنية التي تبدأ بالثانية 50 وتنتهي بالثانية 80. الشكل (13) والجدول (8) يعكسان التأثير الحاصل في الشبكة وقابلية كل متحكم من متحكمات AQM في الحفاظ على طول الرتل المطلوب.



الشكل (13) أداء متحكمات إدارة الرتل الفعال وفقاً لمعطيات التجربة 6 .



الشكل (14) أداء متحكمات إدارة الرتل الفعال وفقاً لمعطيات التجربة 7.

الجدول (9) معدل طول الرتل والانحراف المعياري له لمتحكمات AQM (تجربة 7)

Controller	Mean	Standard Deviation
PI	322.68	214.47
PID	264.93	102.27
AWNPID	219.04	53.61

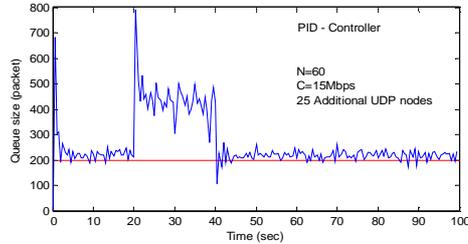
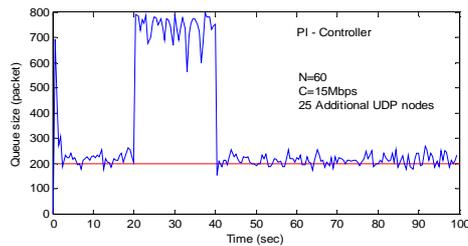
من الشكل (14) يمكن ملاحظة عدم صمود المتحكم PI بوجه التغييرات الجديدة للشبكة ووصوله إلى حالة قريبة من حالة الحاجر الممتلئ (Full of Buffer) غير المرغوب بها، وبذلك فإنه يحتاج إلى إعادة توليف متغيراته (Tuning). المتحكم PID كان أقل تأثراً بالتغييرات الجديدة للشبكة لكنه ابتعد كثيراً عن الحفاظ على طول الرتل المطلوب، ويظهر ذلك واضحاً من خلال الجدول (9). أمّا المتحكم AWPID فقد سجل أفضلية واضحة في الحفاظ على طول الرتل قريباً من القيمة المطلوبة، ويتجلى ذلك من خلال قيمة معدل طول الرتل والانحراف المعياري له في الجدول (9).

## 7. النتائج

للتحكم بالاختناق (congestion) الحاصل في الشبكة الحاسوبية، لا بدّ من تنظيم معدل الإرسال لمصادر حزم البيانات الداخلة للشبكة، لضمان استغلال أكبر لسعة الإرسال وتجنب اختناق الشبكة. في هذا لبحث صمّم متحكم تكيفي (AWNPID) يعتمد على شبكة الموجة (wavelet network) للتحكم بطول

مرور الرزم كدالة لطول الرتل ( as a function of queue length). يُنجز ما تقدم بواسطة التغذية العكسية (feedback) التي يجري عن طريقها إشعار المصدر (source) بضرورة تعديل (modify) معدل الإرسال لتلافي الاختناق. في بروتوكول بيانات المستخدم UDP فإن سلسلة الرزم الواصلة من المصدر تكون مهمة (unresponsive) من قبل التغذية العكسية، لذلك فإن العدد القليل من العقد من نوع UDP يكون له تأثير كبير في الشبكة إذا ما قورن ببروتوكول FTP. التجربة 7 تجسد ذلك بوضوح.

**التجربة 7:** دُرست من خلال هذه التجربة قابلية متحكمات AQM الثلاثة في التحكم بطول الرتل المطلوب تحت تأثير الاضطراب (disturbance) الحاصل من جراء تعرض الشبكة الحاسوبية المقترحة في الفقرة (5) لدخول 25 عقدة إضافية من نوع UDP خلال المدة الزمنية التي تبدأ بالثانية 20 وتنتهي بالثانية 40. الشكل (14) والجدول (9) يعكسان التأثير الحاصل في الشبكة وقابلية كل متحكم من متحكمات AQM في الحفاظ على طول الرتل المطلوب.



6- عدم صمود المتحكمين PI و PID بوجه بعض التغيرات الديناميكية للشبكة، وحاجتها إلى إعادة تنعيم (re-tuning) متغيراتها.

### 8- التوصيات

1- في تصميم المتحكم التكيفي المعتمد على شبكة الموجة، اختيار العدد الأقل من العقد (nodes) يعتمد على أنواع مختلفة من الموجات الذي مازال يمثل مشكلة بحث مفتوحة.

2- في تصميم المتحكم التكيفي المعتمد على شبكة الموجة، من الصعوبة اختيار نوع الموجة الأم (mother function) التي تحقق أفضل تتبع للقيمة المطلوبة. البحث في هذا المجال مستمر للوصول إلى استنتاجات مطلقة.

3- تصميم المتحكم التكيفي بالاعتماد على شبكة الموجة المتعددة (multi-wavelet network) للحصول على دقة أكبر.

4- تبني إحدى الشركات المصنعة للموجهات (Routers) استخدام المتحكم Awnpid لتحسين تقنية إدارة الرتل الفعال.

الرتل المطلوب وجوده في فضاء الموجة (router space)، لتحسين إدارة الرتل الفعال في بروتوكول التحكم بالإرسال TCP/AQM.

باستخدام محاكي الشبكات الحاسوبية NS2 (Network System 2)، استُعرض أداء المتحكم Awnpid في التحكم بطول الرتل المطلوب (desired queue) وقُورن بأداء المتحكمين التقليديين PI و PID .

من خلال إجراء الاختبارات اللازمة لكل متحكم، تم التوصل إلى النتائج الآتية:

1- إمكانية العالية للمتحكم Awnpid في التعامل مع مشكلة الاختناق، مع جودة الأداء في تتبع طول الرتل المطلوب وجوده في فضاء الموجة.

2- سرعة استجابة المتحكم التكيفي Awnpid في الحفاظ على طول الرتل المطلوب، مقارنةً بالمتحكمين التقليديين PI و PID .

3- قدرة المتحكم Awnpid في التعامل مع التغيرات الديناميكية التي تتعرض لها الشبكة، كالتدفق المتجاوب (responsive flow) المتمثل بالارتباطات الإضافية من نوع FTP و HTTP، والتدفق غير المتجاوب (unresponsive flow) المتمثل بالارتباطات الإضافية من نوع UDP.

4- القدرة العالية للمتحكم Awnpid في مواجهة ظروف المرور المختلفة للشبكة (different traffic conditions) المتمثلة بتغير عامل الحمل N وتغير سعة الإرسال C، مع التفوق الواضح لهذا المتحكم على المتحكمين التقليديين PI و PID.

5- حفاظ المتحكم Awnpid في استجابته على أعلى قمة (overshoot) لا تتجاوز 400 رزمة، على خلاف ما نلاحظه في المتحكمين PI و PID التي تصل إلى أكثر من 700 رزمة.

## 5- المراجع\*

- systems, vol. 6, no. 4, pp. 526-533, August 2008.
- [9] X. Laisheng, W. Zhengxia, P. Xiaohong, "Research on Congestion Control Model and Algorithm for High-Speed Network based on Genetic Neural Network and Intelligent PID", proc. of IEEE wireless communications, networking and mobile commuting, 2009. Pp. 1-6.
- [10] Y. Sheng, D. Roberge, and H. H. Szu, "Optical Wavelet Transform," Optical Engr., v31, n9, pp.1840-45, Sep. 1992.
- [11] G. Lekutai, "Adaptive Self-Tuning Neuro Wavelet Network Controllers", Ph.D. Thesis. Virginia Polytechnic Institute and State University. College of Eng., Electrical Eng. The Bradley Dept., 1997.
- [12] V. Misra, W.-B. Gong, and D. Towsley, "Fluid-Based Analysis of a Network of AQM Routers Supporting TCP Flows with an Application to RED", in Proc. ACM SIGCOMM, 2000. pp. 151-160.
- [13] C. V. Hollot, V. Misra, D. Towsley, and W. B. Gong, "A Control Theoretic Analysis of RED", In Proceedings of IEEE INFOCOM, USA, 2001.
- [14] A. Majeed, "Design of Fuzzy-Genetic Controller for Congestion Avoidance in Computer Networks", MSc. Thesis, College of Engineering of Nahrain University, March, 2010.
- [15] V. Amato, D. Littlejohn "Cisco Networking Academy Program", First Edition, Arab Scientific Publisher, 2003.
- [1] D. E. Mcdysan and D.Paw, "ATM & MPLS Theory & Application: Foundations of Multi-Service Networking", McGraw-Hill, 2002.
- [2] L. Peterson and B. Davie, "Computer Network a Systems Approach" 3<sup>rd</sup> edition, Elsevier Science (USA), 2003.
- [3] S. Floyd and V. Jacobson, "Random Early Detection Gateway for Congestion Avoidance", IEEE/ACM Transactions on Networking Vol.1, No.4, August 1993.
- [4] B. Braden, D. Clark and J. Crowcroft, "Recommendations on Queue Management and Congestion Avoidance in the Internet", Network Working Group ,Request for Comments: 2309 (RFC2309), April 1998.
- [5] A. T. Al-Hammouri "Internet Congestion Control Complete Stability Region for PI AQM and Bandwidth Allocation in Networked Control", January, PhD Thesis, Case Western Reserve University, January 2008.
- [6] p.p. Xiao, Y.T. Tiao, "Design of a Robust Active Queue Management Algorithm based on Adaptive Neuron PID", Proceeding of the Fifth International Conference on Machine Learning and Cybernetics, IEEE, 2006. pp. 308-313.
- [7] J. Sun, M. Zukerman, M. Palaniswami, "A Stable PI Controller for AQM", International Symposium on Communications and Information Technology (ISCIT), IEEE, 2007. pp.707-712.
- [8] J. M. Kim, J. B. Park, Y. H. Choi, "Wavelet Neural Network Controller for AQM in a TCP Network: Adaptive Learning Rates Approach", International Journal of Control, Automation, and