

تأثير النمط التشابكي Mesh وطريقة الـ DSM في أداء خوارزمية موازنة الحمل في الشبكات Wi Max

د. م. محمد صالحاني*

الملخص

يقوم هذا البحث على دراسة تأثير النمط التشابكي (المتشابك) (Mesh Mode) وطريقة موازنة الحمل في الشبكات الحاسوبية السلكية DSM في أداء خوارزمية موازنة الحمل في الشبكات WiMax ذات المعيار IEEE 802.16e التي تدعم الحركية (Mobility). إن الهدف من موازنة الحمل في الشبكات Wi Max هو تحسين جودة الخدمة (QoS) وزيادة عدد المشتركين الذين يمكنهم الدخول إلى الشبكة، ومن ثمَّ زيادة استخدام الموارد (Resource Utilisation). يقوم البحث على تطبيق خوارزمية موازنة الحمل باستخدام مقارنة أسوأ منطقة التي تهدف إلى إعادة توزيع بعض الطرفيات بين المحطات القاعدية (Base Stations :BSs) في الشبكة WiMax من خلال نظام توزيع مركزي (Centralized Distribution System) يتولى إدارة عملية إعادة توزيع الحمل بشكل سريع بحيث لا تتأثر جودة الخدمة للمشاركين ولاسيما زبائن تطبيقات الزمن الحقيقي. يقارن البحث بين أداء الشبكة بعد تطبيق خوارزمية موازنة الحمل في الشبكة WiMax التي تدعم النمط التشابكي باستخدام مقارنة أسوأ منطقة وبين أداء الشبكة بعد تطبيق طريقة الـ DSM المستخدمة لموازنة الحمل بين المبدلات في الشبكات السلكية، وتظهر ميزات كل طريقة ومساوئها بعد دراسة الأداء وتحليل النتائج. كما يتطرق البحث إلى صفوف الخدمة المستخدمة في الشبكة WiMax، ويبيِّن بارامترات (موسطات/معاملات) جودة الخدمة لكل صف خدمة وفقاً لتطبيق المستخدم، ويركز على بارامتر معدل نقل المعطيات (Data Rate) لأنَّه البارامتر الأهم بين بارامترات جودة الخدمة (معدل النقل، التأخير الزمني (Latency)، الرجفان (Jitter)).

الكلمات المفتاحية: الشبكة Wi Max، النمط التشابكي، خوارزمية موازنة الحمل، طريقة موازنة الحمل في الشبكات السلكية (DSM).

* مدرس - قسم هندسة الحواسيب والأتمتة، كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية-جامعة دمشق.

1- المقدمة (Introduction):

يأتي هذا البحث استكمالاً للبحث المنشور في مجلة جامعة دمشق للعلوم الهندسية [1] الذي ينصح بالعودة له حتى يتمكن القارئ من الفهم الجيد لهذا البحث المكمل له. في الحالات كلها سنأتي على ذكر أهم نقاط البحث السابق لنضع القارئ في سياق البحث الحالي. بالواقع نريد في بحثنا الحالي دراسة تأثير النمط التشابكي (المتشابك) (Mesh Mode) - الذي تدعمه شبكة WiMax، وكذلك طريقة الـ DSM (Design Structure Matrix) المستخدمة في أمثلة عملية موازنة الحمل بين المبدلات في الشبكات الحاسوبية السلكية - في أداء خوارزمية موازنة الحمل باستخدام مقارنة أسوأ منطقة التي بينا في بحثنا السابق أنها الطريقة الفضلى لموازنة الحمل بين المحطات القاعدية في الشبكة WiMax. لم يتطرق أي من البحوث الحالية - التي تهدف إلى تحسين أداء الشبكات اللاسلكية - لتأثير النمط التشابكي أي أداء موازنة الحمل، ولم يُطبق أيًا منها تقنية الـ DSM على الشبكات اللاسلكية ومن هنا تأتي أهمية البحث المقترح.

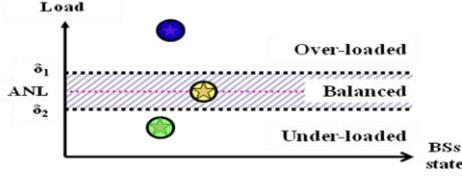
عُرِضَتْ بدايةً دراسة مرجعية لأهم الأعمال البحثية ذات الصلة. بعد ذلك شُرِحَتْ خطوات آلية عمل خوارزمية موازنة الحمل. أُخِذَ بعد ذلك مثال تطبيقي يأخذ بالحسبان النمط التشابكي الذي تدعمه الشبكة WiMax. نُوقِشَتْ هنا عدة حالات شاذة وصولاً إلى بعض النتائج المهمة. من ثم طُبِّقَتْ إحدى أهم الطرائق المستخدمة لأمثلة موازنة الحمل المستخدمة في الشبكات الحاسوبية السلكية، وهي طريقة الـ DSM، على الشبكة المدروسة لنرى مدى تأثيرها في نتائج موازنة الحمل بمقارنة أسوأ منطقة. حُيِّمَ البحث بخاتمة عامة لخصت أهم النتائج المستوحاة من هذا البحث وأدرِجَتْ أهم الآفاق المستقبلية لتطوير هذا البحث واستكمالها.

2- الأعمال البحثية ذات الصلة (Related work):

ذكرنا في بحثنا السابق أن فكرة موازنة الحمل قد طُبِّقَتْ سابقاً في الشبكات اللاسلكية المحلية ذات البنية التحتية Wi-Fi من قبل Aleo [2]. لكن خوارزميته المقترحة لم تكن كافية وشاملة وكان النظام المقترح لإعادة توزيع الحمل موزعاً في نقاط النفاذ (Access Points : APs)، ولذلك اخترنا خوارزمية أكثر شموليةً وفاعلية، من بين عدة خوارزميات اقترحت في بحثنا السابق، أطلقنا عليها اسم مقارنة أسوأ منطقة التي تقوم بموازنة الحمل في المنطقة الأسوأ (أسوأ منطقة تراكب (Overlapping Zone) بين خليتين متجاورتين) وهي المنطقة التي تشترك فيها محطة قاعدية ذات تحميل زائد مع أخرى تحت التحميل. كما اقترحنا نظاماً مركزياً لإعادة توزيع الحمل يوضع في مخدم مستقل وذلك لما له من ميزات مهمة مقارنة بذلك الموزع في المحطات القاعدية. كما اقترحت في بحوث مشابهة تقنية أخرى لموازنة الحمل في الشبكات اللاسلكية هي تقنية تنفس الخلية (Cell Breathing Technique) [3]، [4]، تقوم على التحكم باستطاعة البث لنقاط النفاذ، لكنها أيضاً عانت من بعض التحديات التي حدت من كفاءتها ولاسيما التداخل الكهرومغناطيسي بين المحطات التي تعمل على المجال الترددي نفسه. تابعنا في بحثنا هذا اعتمادنا على أفضل خوارزمية لموازنة الحمل المقترحة في البحث السابق وطبقناها على شبكة WiMax التي تدعم النمط التشابكي وليس فقط نمط البنية التحتية الذي ركزنا عليه في البحث السابق. انتقلنا بعدها لمناقشة تطبيق طريقة موازنة الحمل DSM المستخدمة في الشبكات السلكية لنرى ميزات كل طريقة ومساوئها من خلال تحليل النتائج.

بدأنا أولاً بتلخيص خطوات عمل خوارزمية موازنة الحمل التي تطرقنا لها في البحث السابق لنضع القارئ في سياق البحث الحالي [1].

3- خطوات خوارزمية موازنة الحمل:



الشكل (1): الحالات المحتملة للمحطة القاعدية

* حساب العتبة العليا والعتبة الدنيا، وذلك لمعرفة حالة كل محطة قاعدية، بحيث تُحسب العتبة العليا وفق: $\delta_1 = ANL + \alpha \times ANL$ (Tolerance Parameter) المستخدم لمعايرة الشبكة والتحكم بجودة الحل، أي مدى قرب الشبكة أو بعدها عن الحالة المثالية للتوازن ($\beta=1$). وتتغير قيمة (α) بتغير حدود منطقة التوازن، فزيادة جودة الحل تقلل قيمة (α) وبالعكس، وذلك على حساب زيادة عمليات التسليم (Handover Processes) أي على حساب التأخير الزمني (زمن تشغيل الخوارزمية) (تطرقنا إلى كيفية تحديد قيمة α في البحث السابق) وكذلك زيادة حمل التأشير (Signaling) من جهة أخرى. في حين تحسب العتبة الدنيا وفق: $\delta_2 = ANL - \alpha \times ANL$ ، وكل محطة قاعدية لها حركة مرور أكبر من العتبة الأولى، تعدُّ محطة قاعدية فوق التحميل وعليها التخلي عن طرفية أو أكثر لصالح محطة مجاورة تحت التحميل. في حين ترفض المحطة المحملة تحميلاً زائداً أية طرفية جديدة (مستخدم جديد New User) تدخل إلى الشبكة، وكذلك ترفض استقبال أية طرفية موجودة في الشبكة وتود الخوارزمية نقلها من محطة ذات تحميل زائد، وتسمى هذه الطرفية بالمنتقلة (Transferring Station). بالمقابل كل محطة قاعدية لها قيمة حركة مرور تقع بين العتبة العليا والدنيا فإنها تعدُّ محطة قاعدية متوازنة (Balanced BS)، ولا تستقبل هذه المحطة إلا الطرفيات الجديدة فقط. أخيراً، كل محطة قاعدية لها حركة مرور تقع تحت العتبة الدنيا، تعدُّ محطة قاعدية تحت التحميل، وتقبل هذه المحطة أي نوع من الطرفيات (الجديدة والمنتقلة).

تتألف خوارزمية موازنة الحمل التي ينفذها المتحكم الموجود في النظام المركزي (المخدم) من الخطوات الآتية: **الخطوة الأولى** حساب قيمة حركة المرور (Traffic) (معدل النقل) لكل محطة قاعدية (T_i)، وذلك بجمع حركة المرور للطرفيات المتصلة حالياً كلها بالمحطات القاعدية

$$T_i = \sum_{j=1}^m T_{STAj}$$

التي عددها (m) وفق: T_{STAj}

يُحسب بعد ذلك مؤشر التوازن (Balance Index) الذي يرمز له ببيتا (β) وفق:

$$\beta = \frac{\left(\sum_{i=1}^n T_i \right)^2}{n \times \sum_{i=1}^n T_i^2}$$

إذ تمثل (T_i) حركة مرور المحطة القاعدية (i) و (n) عدد الخلايا (عدد المحطات) التي تتشارك في منطقة التراكب المدروسة والتي نحسب فيها قيمة β .

الخطوة الثانية هي تطبيق سياسة النقل (Transfer Policy) التي من خلالها تُحدد حالة كل محطة (BS State) (Status) في الشبكة، أي نعرف من خلالها المحطة القاعدية ذات التحميل الزائد (فوق التحميل Over-loaded) التي يجب عليها التخلي عن طرفية ما لصالح محطة قاعدية مجاورة، تشترك معها في منطقة التراكب، وتكون تحت التحميل (Under-loaded)، كما يوضحه الشكل (1). وحتى تصل هذه السياسة إلى هدفها يجب عليها حساب المعاملات الآتية:

* **الحمل الوسطي للشبكة** (Average Network Load) وهو المتوسط الحسابي لحركة مرور المحطات القاعدية المكونة للشبكة المدروسة، وفق: $ANL = (T_1 + T_2 + \dots + T_i) / i$ ، إذ (i) هو العدد الكلي للمحطات القاعدية في الشبكة سواءً كانت مشتركة بمنطقة تراكب واحدة أم لا؟

4- موازنة الحمل في شبكة WiMax بوجود النمط التشابكي (Mesh Mode):

بالواقع للتشابك (التشبيك) في الشبكات اللاسلكية نوعان: التشابك من خلال العملاء (Client Mesh Networking) حيث تتشابك العملاء مع بعضها بعضاً وصولاً إلى الشبكة السلكية والنوع الثاني هو التشابك عن طريق الشبكة (Infrastructure Mesh Networking) الذي يكون من خلال موجّهات لاسلكية تتشابك مع بعضها من جهة وتُربط الشبكات المختلفة من خلالها وصولاً إلى مشغل الشبكة ومنها إلى شبكة الإنترنت. سنركز على الحالة الأولى ولنأخذ مثلاً بوضوح مدى تأثير نمط التشابك في النتائج التي تعطيها خوارزمية موازنة الحمل. لكن قبل البدء بأخذ مثال تطبيقي عن الشبكة WiMax بنمط تشابكي استُعرضت صفوف الخدمة في الشبكة WiMax حتى نأخذ مثلاً بمعدلات نقل عملية للزبائن. في الحقيقة للشبكة WiMax خمسة صفوف خدمة (Classes of Service) كما يأتي [5][6][7][8][9][10][11]:

- صف نقل الصوت (VoIP : Voice over IP) من دون حذف مدد الصمت، ويسمى (USG (Unsolicited Grant Service) وبارامترات هذا الصف: المعدل الأعظمي للنقل (Maxi Sustained Traffic Rate)، والتأخير الزمني (Latency) والرجفان (Jitter)، ولهذا الصف معدل نقل وسطي قدره 80kbps.

- صف نقل الصوت مع حذف لحظات الصمت (Extended Real-time Polling Service (ErtPS)) وبارامترات هذا الصف بارامترات صف الخدمة السابق نفسها مضافاً إليها الحد الأدنى لمعدل النقل، لهذا الصف معدل نقل وسطي قدره 200kbps.

- صف نقل الفيديو (Real-time Polling Service (rtPS)) وبارامترات صف الخدمة هذا هي المعدل الأعظمي

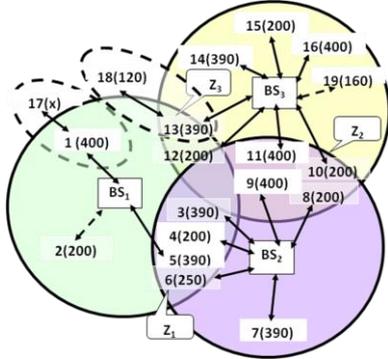
الخطوة الثالثة هي تطبيق سياسة الاختيار (Selection Policy) التي من خلالها تُحدّد أي طرفية يُفضل نقلها من بين عدة طرفيات مرشحة، والتي تشترك جميعها بأنها تقع بمنطقة التراكب نفسها وتتصل بالمحطة ذات التحميل الزائد، لكن تختلف بالتطبيق الذي تقوم به (وخصوصاً معدل النقل). لتحقيق ذلك تقوم سياسة الاختيار أولاً بحساب الدلتا ثم باختيار أفضل مرشح (BC : Best Candidate) كما يأتي:

$$\Delta = T_{BS} - ANL; BC_j = |T_{BC_j} - \Delta|$$

تُعرف دلتا بأنها الفرق بين حركة مرور المحطة فوق التحميل والحمل الوسطي للشبكة. في حين يُعرف أفضل مرشح بأنه أحد أفضل الطرفيات المرشحة للنقل من المحطة ذات التحميل الزائد باتجاه محطة أخرى مجاورة تحت التحميل، ويحدد بحساب الفرق (بالقيمة المطلقة) بين حركة مرور الطرفية المرشحة وبين قيمة دلتا. يُحسب ذلك للطرفيات المرشحة كلّها (j) ثم نختار الطرفية التي تعطي أقل قيمة لـ(BC) وتكون هي أفضل مرشح للنقل.

الخطوة الرابعة هي تطبيق سياسة التوزيع (Distribution Policy) والهدف منها التأكد من صحة الاختيار قبل اتخاذ القرار بنقل الطرفية المرشحة وذلك لتجنب ظاهرة الأخذ والرد (Ping-Pong Phenomena) التي قد تحدث عندما تقوم طرفية ما بإجرائية التسليم، ثم تعود إلى المحطة القاعدية التي كانت متصلة بها (أي إن قرار التسليم كان متسرعاً وخطأً (غير ضروري)). تُطبّق هذه السياسة من خلال حساب مؤشر التوازن الجديد (β_{new}) فيما لو نُقلت الطرفية المرشحة من المحطة المخدّمة (Serving BS) ذات التحميل الزائد إلى المحطة الهدف (Target BS) التي هي تحت التحميل، فإذا تحقق أن ($\beta_{new} > \beta_{old}$) فإن قرار الاختيار صحيح ويطلب النظام إلى المحطة المرشحة القيام بعملية التسليم وفق بروتوكول محدد.

على حساب زيادة الزمن اللازم لتحميل الملف، ومن ثمَّ يكون معدل نقل الطرفية 13 أعظماً وقدره 470 كيلوبت بالثانية.



الشكل (2): المثال التطبيقي

ج. لمعرفة إمكانية دخول الزبائن الجدد 2 و 19 للشبكة علينا معرفة حالة المحطات القاعدية 1 و 3 ولذلك نحسب الحمل الوسطي للشبكة والعتبات وفق:

$$ANL = 4900 \text{kbps} / 3 = 1633.34 \text{ kbps}$$

$$\delta_1 = 23\% * ANL + ANL = 2009 \text{kbps}$$

$$\delta_2 = -23\% * ANL + ANL = 1257.67 \text{kbps}$$

وتكون حالة كل محطة قاعدية على النحو:

$$T_{BS1} = 790 \text{kbps (Under-loaded)}$$

$$T_{BS2} = 1830 \text{kbps (Balanced)}$$

$$T_{BS3} = 2280 \text{kbps (Over-loaded)}$$

وعليه ستمكن الطرفية 2 من الدخول إلى الشبكة لأنَّ محطاتها القاعدية تحت التحميل، أمَّا الطرفية 19 فلن تستطيع الدخول لأنَّ محطاتها القاعدية فوق التحميل وبذلك تكون حركة المرور الجديدة للمحطة القاعدية الأولى $T_{BS1} = 990 \text{kbps}$. ويصبح الحمل الوسطي للشبكة والعتبات الجديدة على النحو:

$$ANL = 1700 \text{kbps}, \delta_1 = 2091 \text{kbps}, \delta_2 = 1309 \text{kbps}$$

الآن نحسب مؤشر التوازن في المناطق كلها لمعرفة المنطقة الأسوأ، وكذلك الانحراف المعياري (عُرف في البحث السابق) لحركة المرور وبيتا الكلية كمتايير لتحسين الأداء وفق:

$$\beta_j = (\sum T_i)^2 / (n * \sum T_i^2)$$

$$\beta_1 = 0.918, \beta_2 = 0.988, \beta_3 = 0.865, \beta = 0.91,$$

$$\sigma_T = 654.75 \text{kbps}$$

والأصغري للنقل والتأخير الزمني، ولهذا الصف معدل نقل وسطي قدره 390kbps.

- صف خدمة الزمن غير الحقيقي (Non-real-time Polling Service (nrtps) الذي يدعم نقل الـ FTP مع ضمان معدل نقل أصغري. بارامترات صف الخدمة هذا هي فقط المعدل الأعظمي والمعدل الأصغري للنقل، لهذا الصف معدل نقل وسطي قدره 160kbps.

- صف الخدمة الذي لا يدعم جودة الخدمة والمسمى Best Effort (BE) الذي يستخدم مع البروتوكول (HTTP) وله بارامتر وحيد هو المعدل الأعظمي للنقل.

الآن لنأخذ المثال التطبيقي المبين في الشكل (2)، وهو عبارة عن شبكة WiMax لها بارامتر تسامح $\alpha = 23\%$ (نذكر بأنه أُشير إلى كيفية تحديده في البحث السابق)، يقوم الزبائن بتطبيقات مختلفة وبمعدلات النقل الموافقة لصفوف الخدمة الأنفة الذكر، إذ يُمثل كل زبون (طرفية أو عقدة) برقم، وبين قوسين نضع معدل نقله لحظة القياس مقدراً بـ Kbps، ولنفرض أن للشبكة الشروط الآتية:

أ. تود الطرفية 17 تشغيل برنامج فيديو (Video Streaming) يتطلب معدل نقل قدره $X = 390 \text{Kbps}$ علماً أن معدل نقل الطرفية 1 لا يمكن أن يتجاوز أكثر من 500kbps. ب. تحاول الطرفية 18 تحميل ملف (من شبكة الإنترنت عبر المحطة BS3) من خلال الطرفية 13 التي لا يمكن أن يتجاوز معدل نقلها الـ 490kbps. ج. يحاول الزبائن الجدد (New Users) 2 و 19 الدخول إلى الشبكة إذا كان ذلك ممكناً. لنقم الآن بموازنة الحمل باستخدام مقاربة أسوأ منطقة، ولكن سنبدأ أولاً بمناقشة القيود الحالية:

أ. نستنتج حركة مرور الطرفية 17 لأنها لا تستطيع تشغيل الفيديو عبر الطرفية 1 ومن ثمَّ لن يلبى مشغل الشبكة خدمة (اتصال) هذه الطرفية.

ب. تستطيع الطرفية 18 تمرير فقط 100 كيلوبت بالثانية للطرفية 13 لأنَّ تطبيق الطرفية 18 ليس زمنياً حقيقياً، لكن

النقل الجديدة لمعرفة حالة كل محطة قاعدية بعد نقل الطرفية 12:

$T_{BS1}=1190\text{kbps}$ (Under-loaded)
 $T_{BS2}=1830\text{kbps}$ (Balanced),
 $T_{BS3}=2080\text{kbps}$ (Balanced)

نلاحظ أن المحطات القاعدية BS2, BS3 أصبحت متوازنة والمحطة BS1 تحت الحمل والخوارزمية تتوقف هنا بعد أن حققت هدفها في موازنة الحمل بتبديل واحد.

والسؤال هنا ماذا لو كانت الخوارزمية بطيئة وأيضاً الطرفية 12 تقوم بتطبيق زمن حقيقي؟ هنا لا تُختار الطرفية 12 كأفضل مرشح و تنتقل إلى المنطقة الأسوأ من الدرجة الثانية (Z1) لكن نجد فيها (BS1) تحت التحميل، في حين (BS2) متوازنة، وعليه لا يمكن للخوارزمية فعل شيء (يمكن نقل الطرفيات فقط من محطة فوق التحميل إلى محطة تحت التحميل حصراً) و تنتقل من ثم إلى المنطقة الأسوأ من الدرجة الثالثة وهي (Z2) وفيها (BS2) متوازنة و (BS3) فوق التحميل، ومن ثم تقف الخوارزمية عند هذا الحد دون أن تحقق هدفها في هذا الإقلاع منتظرة الإقلاع القادم.

الآن ماذا لو أن الطرفية 18 لم تستطع تمرير حركة مرورها (Traffic) عبر الطرفية 13؟ في هذه الحالة يمكن انتخاب الطرفية 13 كأفضل مرشح ونحصل على حل أفضل لكن على حساب عدم تخديم الطرفية 18.

بالواقع قد يعود ضعف إمكانية الطرفية 18 لتمرير حركة مرورها لعدة أسباب: سبب مكاني هو ضعف إشارتها المستقبلية من قبل المحطة (BS3) دفعها للمحاولة بدخول الشبكة بنمط Mesh عبر الطرفية 13 بدل الدخول بشكل مباشر والخيار الأخير هو الأفضل. سبب تقني هو ضعف بطايرتها أدى إلى انخفاض معدل نقلها في الإرسال عبر الطرفية 13. أو أن لها بطاقة شبكة بإمكانيات محدودة، أو

أسوأ منطقة من وجهة نظر (β) هي المنطقة Z3. لنطبق الآن سياسة الاختيار لاختيار إحدى الطرفين 12 أو 13:

$\Delta = T_{BS3} - ANL = 580\text{kbps}$
 $BC13 = |T_{SAT13} - \Delta| = 190\text{kbps}$
 $BC12 = |T_{SAT12} - \Delta| = 380\text{kbps}$

الطرفية المرشحة للنقل هي 13، لكن نستثنيها من الاختيار لأنها تشكل جسراً (Relay/Bridge) (يجري من خلالها عبور حركة مرور طرفية أخرى هي 18 في حالتنا)، وإلا ستفصل طرفيتان عن الخدمة (في حال اختيار الطرفية 13 كأفضل مرشح) وهما الطرفية 13 و 18 وإعادة نقلهما باتجاه المحطة 1 يستغرق زمناً طويلاً قد يكون فوق حد التأخير الزمني الذي تتحملة تطبيقات تلك الزبائن. إذ بعد نقل الطرفية 13 إلى المحطة الجديدة فإن على الطرفية 18 أن تقطع خدمتها وتبحث عن طرفية أخرى تشكل بالنسبة إليها جسراً (Bridge) للوصول إلى الشبكة. من أجل هذا كله وكقاعدة: ترفض الشبكة نقل أي طرفية تمثل جسراً إلى طرفية أخرى. بالمحصلة نختار ثاني أفضل مرشح (الطرفية 12) على حساب انخفاض جودة الحل (بيتنا أقل وانحراف معياري أكبر)، لكن الأهم هو أن لا نسيء للخدمة بهدف موازنة الحمل (إرضاء الزبون وعدم قطع خدمته أو الإساءة لها أهم من تحسين أداء الشبكة من وجهة نظر الزبون، فما يهم الزبون هو جودة الخدمة).

لنطبق الآن سياسة التوزيع للتأكد من صحة الاختيار (اتخاذ قرار التسليم بشكل صحيح) قبل إلزام الطرفية 12 بالقيام بعملية التسليم باتجاه BS1:

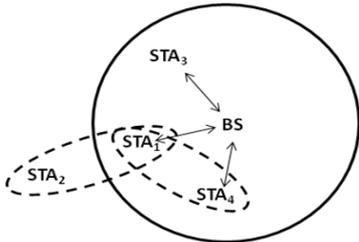
$\beta_1=0.957, \beta_2=0.995, \beta_3=0.931 > \beta_3, \beta=0.953,$
 $\sigma_T=459.02\text{kbps}$

نظراً إلى أن قيمة β_3 الجديدة قد أصبحت أكبر فالاختيار صحيح، وهنا يرسل المتحكم (الذي يشكل أحد مكونات النظام الموجود في المخدم المركزي) طلباً للطرفية 12 لتقوم بعملية التسليم باتجاه BS1. بعد ذلك نطبق سياسة

أقلعت فيها، أملاً في التحسين في الإقلاع القادم بعد أن تكون بعض الطرفيات قد تحركت أو دخلت (خرجت) طرفيات جديدة إلى الشبكة.

الحالة الرابعة: من أجل مستخدم جديد (New User) يدخل إلى الشبكة نميز الحالات الآتية المبينة في الشكل (3): أ. يمكن للطرفية الجديدة (STA_2) أن تدخل الشبكة وتتصل بالـ (BS) حتى لو كانت هذه الأخيرة فوق التحميل بشرط: أن تكون الطرفية (STA_1) لها الإمكانية الكافية (تسمح بطاقة الشبكة بذلك)، وأن يسمح التطبيق الذي تقوم به (STA_2) بذلك أيضاً. أي يمكن أن تقبل المحطة القاعدية حتى التي فوق التحميل بالزبائن الجدد الذين يدخلون بنمط تشابكي وليس بنمط بنية تحتية (مباشر)، لأنّ هذا الزبون يكون بعيداً وله إمكانية ضعيفة فالأفضل السماح له بالخدمة. من وجهة نظر أخرى، يمكن للشبكة أن ترفض هذا النوع من الاتصال ولاشي يمنع ذلك فهو إذاً خيار تحدده الخوارزمية وسرعة الشبكة وإمكانياتها.

ب. لا يمكن للطرفية الجديدة (STA_3) الدخول للشبكة والاتصال بالـ (BS) إذا كانت هذه الأخيرة فوق التحميل مهما كان تطبيق الطرفية الجديدة، لأنّ (STA_3) طرفية جديدة تقوم باتصال مباشر بالمحطة (BS) التي هي فوق التحميل.



الشكل (3): حالات محتملة لدخول الزبائن الجدد

ج. إذا كان بالإمكان تخديم طرفية جديدة (STA_4) بشكل مباشر (بنمط بنية تحتية (Infrastructure Mode))، وهذا يجري عندما تكون المحطة القاعدية (BS) متوازنة أو تحت التحميل، وكذلك إذا كان بالإمكان تخديم (STA_4) بنمط تشابكي من خلال (STA_1). أي كلا النمطين يمكنهما تخديم

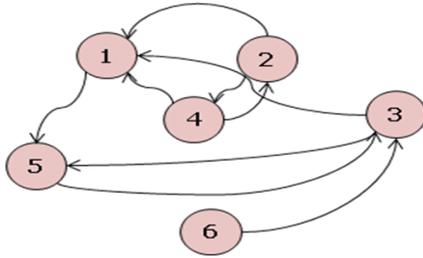
قد يكون حدث تداخل كهربيسي منعها من الوصول إلى الشبكة، إلخ.

نود هنا أن نسلط الضوء على أهم الحالات الشاذة الأخرى التي يجب الوقوف عندها في هذا البحث:

الحالة الأولى: في حال كان لدينا شبكة مؤلفة من عدة أقسام (أجزاء) منفصلة مثلاً قسمان (2 Segments) وكل قسم يشكل شبكة بحد ذاته (عدة خلايا متراكبة)، ونريد تطبيق آلية موازنة الحمل في مثل هذه الشبكة. في هذه الحالة نقوم بموازنة الحمل في كل قسم على حدة كونهما جزأين منفصلين، أي لا توجد بينهما منطقة تراكب، وعليه لا يمكن تبادل الطرفيات فيما بينهما.

الحالة الثانية: إذا كان لدينا شبكة مؤلفة من عدة محطات قاعدية ولا توجد منطقة مشتركة (Common Zone) بين الخلايا كلها. في هذه الحالة لا يمكن تطبيق إلمقاربة المنطقة الأسوأ، ولا يمكن تطبيق مقاربة المنطقة المشتركة (المذكورة في البحث السابق) لعدم وجودها (في بعض الأحيان تكون موجودة لكن لا توجد فيها طرفيات مناسبة لنقلها). وفي مثل هذه الحالة فإن معيار اختبار أداء خوارزمية موازنة الحمل هو فقط الانحراف المعياري لحركة المرور (الذي يعدّ معياراً عاماً يمكن تطبيقه على أي شبكة بغض النظر عن هيكليتها)، ولا يمكن عدّ بيتا الكلية (فقط يمكن الأخذ بالحسبان قيم بيتا الجزئية) بمنزلة معيار عام لقياس الأداء لعدم وجود منطقة مشتركة بين الخلايا كلها.

الحالة الثالثة: قد يكون لدينا حالة فيها محطة قاعدية فوق التحميل ومحطات أخرى متوازنة، فهنا لا يمكن للخوارزمية فعل شيء لأنّ المحطة المتوازنة لا تقبل بالطرفيات المنتقلة، إنما فقط تقبل دخول الطرفيات الجديدة. أو قد يكون لدينا حالة أخرى فيها محطة فوق التحميل وأخرى مجاورة لها تحت التحميل لكن لا توجد طرفيات في منطقة التراكب. وفي كلتا الحالتين تقف خوارزمية موازنة الحمل عاجزة عن تحسين أداء الشبكة في هذه المرحلة التي



الشكل (4): عدة عقد متصلة سلكياً مع بعضها بعضاً

	1	2	3	4	5	6
1	X				1	
2	1	X		1		
3	1		X		1	
4	1	1		X		
5			1		X	
6			1			X

الشكل (5): مصفوفة التجاور A(G)

نوجد بعد ذلك مصفوفة التحقق (Attainability) $R(G)$ (Matrix) وفق الشكل (6)، ذلك باستخدام تقنية Harray لتجزئة هذا المخطط التي تعنى بالاتصالات المباشرة وغير المباشرة، إذ يمثل كل سهم منطلقاً من عقدة ما ويصل - ولو بعدة أسهم متلاحقة - إلى العقدة الهدف ب 1 (وتترك باقي الحالات فارغة كما سبق) وفق ما يأتي:

	1	2	3	4	5	6
1	X		1		1	
2	1	X	1	1	1	
3	1		X		1	
4	1	1	1	X	1	
5	1		1		X	
6	1		1		1	X

الشكل (6): مصفوفة التحقق R(G)

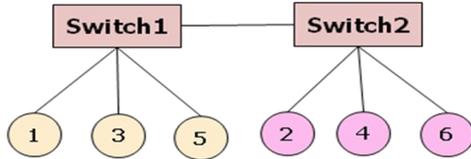
نحدد بعدها المهام المتعاقبة والمهام المتزامنة باستخدام طريقة DSM: بادئ ذي بدء نقوم بإيجاد مصفوفة المكونات المترابطة بشكل قوي $C(G)$ (Components)

هذه الطرفية، فإنه يفضل في هذه الحالة تخديمها بنمط البنية التحتية (أن تتصل مباشرة بالمحطة القاعدية)، إذ تكون في هذه الحالة شروط الاتصال أفضل ولاسيما معدل النقل الأعلى ونوفر استهلاك البطارية وتشغيل بطاقة الشبكة WiMax للزبون بنمط تشابكي.

5- موازنة الحمل في الشبكات بطريقة DSM

تستخدم طريقة DSM في أمثلة توزيع الطرفيات على المبدلات (Switches) في الشبكات الحاسوبية السلكية وذلك لموازنة الحمل بين المبدلات بهدف تحسين أدائها [12]. تقوم هذه الطريقة على تجزئة المخططات Partition of Graphs، والهدف منها تحقيق التعاون بين الطرفيات لتنظيم المسائل المعقدة في المشاريع ومعرفة المهام التي تُتَّجَر على التعاقب أو في الوقت نفسه (Tasks in Parallel or in Sequence) وكذلك المهام المرتبطة ببعضها بشكل كبير (Coupled-Tasks). فعلياً يجري البحث أولاً عن مصفوفة التجزئة من خلال تقنية Harray، ومن ثم تحدد المهام المنجزة على التعاقب أو على التوازي بهذه الطريقة. أما سيئة طريقة DSM فهي عدم التحكم بحجم المهام (عدد الوصلات) بين المجموعات (Inter-Groups). وضحنا آلية عمل هذه الطريقة من خلال مثال توضيحي قبل توظيفها في موازنة الحمل في الشبكة WiMax. ليكن لدينا المخطط الموضح في الشكل (4) الذي يبين ست عقد (طرفيات) تتصل مع بعضها بعضاً لتأدية وظيفة ما، والمطلوب توزيع هذه الطرفيات على مبدلين بشكل أمثلي: نقوم أولاً بإيجاد مصفوفة الجوار (التجاور) (Adjacency Matrix A(G)) وفق الشكل (5)، التي تهتم فقط بالاتصالات المباشرة (المجاورة) بين العقد، إذ يمثل كل سهم منطلقاً من عقدة ما ويصل إلى العقدة الهدف ب 1 أما باقي الخانات فترك فارغة (0).

الآن إذا كان لدينا مبدلان كل منهما له أربعة منافذ Ports، فإن البنية المقترحة لتوزيع الطرفيات السابقة وفق طريقة DSM ستكون على النحو المبين في الشكل (9):



الشكل (9): توزيع الطرفيات وفق طريقة DSM

يمكن من جهة أخرى تطوير الحل السابق والقيام بعملية تنعيم (Refinement) لنقلل - ما أمكن - من الاتصالات بين المبدلات؛ وذلك باستخدام مفهوم ربح التبديل للعقد (Gain of Replacement)، الذي يُعرف بأنه عدد روابط العقدة مع المجموعات الأخرى مطروحاً منه عدد الروابط مع المجموعة نفسها التي تنتمي إليها تلك العقدة.

لنعود إلى الشكل (9) بعد أن وُزعت الطرفيات على مبدلين وفق المجموعتين (1, 3, 5)، (2, 4, 6)، ولنقم بعملية التنعيم لنقلل - ما أمكن - من عدد الوصلات بين المبدلين وفق مفهوم ربح العقد وفق الجدول (1):

الجدول (1): تنعيم طريقة DSM وفق ربح العقد

	G1			G2		
	1	3	5	2	4	6
G1	2	3	3	1	1	1
G2	2	1	0	2	2	0
Gains	0	-2	-3	-1	-1	1

Confirm the results

يمكن من خلال الجدول 1 التأكد من عدد الروابط بين المجموعتين كما هو مبين. لتطوير أداء الشبكة وتحسينه نهتم فقط بالطرفية ذات الربح الموجب (العقدة 6) ونقوم بتبديلها مع طرفية أخرى من المجموعة الثانية لها أسوأ ربح وهي العقدة 1. لتقييم الأداء يستخدم مؤشر أو بارامتر تحميل المبدلات (τ) الذي يُعرف بأنه عدد الروابط (الوصلات) بين المجموعات مقسوماً على عدد الروابط الكلي بين الطرفيات وهو في حالتنا ($\tau=3/9$).

بالعلاقة: $C(G)=R(G)$ AND $R(G)^t$ ، أي نقوم بضرب كل سطر بالعمود المقابل ونضع الناتج في سطر جديد، لاحظ الشكل (7):

	1	2	3	4	5	6
1	X		1		1	
2		X		1		
3	1		X		1	
4		1		X		
5	1		1		X	
6						X

الشكل (7): مصفوفة المكونات C(G)

بعد ذلك نقوم بإيجاد المجموعات الجديدة (تجري إعادة تنظيم المجموعات) أي نوجد مصفوفة C(G) المعاد تنظيمها Reorganized C(G)، والتي من خلالها نظهر الروابط بين المجموعات ونحدد المهام المترابطة، التسلسلية (المتعاقبة) والتفرعية (المتوازية)، وذلك بعد إعادة ترتيب هذه المجموعات كما في الشكل (8):

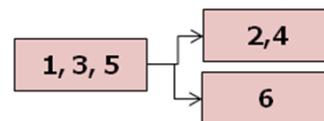
Inter-coupled tasks	1	3	5	2	4	6
Serial tasks	1	X	1	1		
Parallel (individual) tasks	3	1	X	1		
Inter-groups tasks (from A matrix)	5	1	1	X		
	2	1			X	1
	4	1			1	X
	6					X

الشكل (8): مصفوفة المكونات C(G) المعاد تنظيمها

وعليه تكون المكونات (المجموعات) على النحو:

$$C_1 = (1, 3, 5), C_2 = (2, 4), C_3 = (6)$$

يمكن وضع مخطط صندوقي يبيّن المهام التي يمكن أن تنفذ تسلسلياً أو تفرعياً وفق:



المحطات القاعدية). وزعت هذه العقد على عدة مجموعات بحسب مكان وجودها، وحالة المحطة القاعدية التي تتصل بها، ونوع الاتصال: أ هو مباشر أم غير مباشر؟ كما يُبين الجدول (3) أيضاً عدد القفزات اللازمة لتأمين الاتصال ضمن الشبكة المدروسة. والسؤال هل يُسمح لطريقة موازنة الحمل وفق أسوأ منطقة أو لطريقة DSM بتبادل هذه العقد بهدف موازنة الحمل أم لا؟ وما شروط نقل العقد الموجودة في مناطق التراكب من وجهة نظر كل طريقة؟

بالواقع تهتم طريقة أسوأ منطقة بمناطق التراكب، ووجهة اتصال العقدة، وحالة المحطة القاعدية الحالية والوجهة ونوع اتصال العقدة (مباشر أم لا). في حين تهتم طريقة DSM فقط بالعدد المسموح للقفزات ولا تهتم بحالة المحطة القاعدية الحالية والوجهة... إلخ لأن طريقة DSM تطبق للتعميم أي حكماً بعد تطبيق طريقة أسوأ منطقة التي تأخذ بالحسبان باقي الشروط. ولنشرح فيما يأتي آلية العمل الجديدة باستخدام الطريقتين معاً:

وجدنا فيما سبق أن موازنة الحمل لهذا المثال التطبيقي وباستخدام مقارنة أسوأ منطقة قد أفضت إلى اختيار العقدة 12 كمرشح للنقل وتبديلها باتجاه المحطة BS1 لأن المنطقة Z3 هي الأسوأ ومن الدرجة الأولى، وتطبيق طريقة DSM قبل اتخاذ القرار النهائي بالنقل فإن هذا الاختيار سيكون مقبولاً في حال كان اتصال العقدة 12 بقفزة واحدة ضمن الشبكة (كأن تتصل بالإنترنت مثلاً وليس مع عقدة أخرى متصلة مع المحطة القاعدية الحالية في الشبكة نفسها) ومن ثم يبقى حلنا وفق خوارزمية موازنة الحمل صحيحاً أي لا يوجد أي تحفظ على تطبيق طريقة DSM معاً مع خوارزمية موازنة الحمل المقترحة في مثل هذه الحالة. أما إذا كان اتصال العقدة 12 بقفزتين، كأن تكون على اتصال وتبادل معطيات مع العقدة 15 مثلاً والمتصلة مع المحطة القاعدية الحالية نفسها، فهنا لا

إذا بالنظر إلى قيم الربح للعقد يمكن تبديل العقدة 1 مع العقدة 6، فيكون التوزيع الجديد وفق الجدول (2):

الجدول (2): نتائج عملية التعميم

	G1			G2		
	3	5	6	1	2	4
G1	3	2	1	2	0	0
G2	1	1	0	2	3	3
Gains	-2	-1	-1	0	-3	-3

Confirm the results

نظراً إلى أن $\tau = 2/9 < \tau = 3/9$ (before) إذاً يمكن تبني الحل الجديد بتبديل العقدة 6 مع العقدة 1، وعليه فإن المجموعات الجديدة بعد التعميم هي: $C1 = (3, 5, 6)$, $C2 = (1, 2, 4)$. وكقاعدة عامة: نستمر في عملية التحسين إلى أن نصل إلى عقد ذات ربح سالب أو على الأقل الصفر. تشير إلى أنه يمكن الاعتماد على قيمة مؤشر تحميل المبدلات للمقارنة بين حلين واعتماد الحل الأفضل (الحل الذي له مؤشر تحميل أقل وفي حال تساوي قيم مؤشرات التحميل نعتمد الحل الذي يعطي قيمة أفضل لربح العقد (الأكثر سالبية)).

الآن كيف يمكننا توظيف طريقة DSM مع عملية التعميم في الشبكات WiMax؟

يمكن العودة للمثال التطبيقي المبين في الشكل (2) وإضافة تطبيق طريقة DSM عليه. ولنناقش حالات العقد المبيّنة في الجدول (3)، أخذينا بالحسبان أنه أولاً نطبق طريقة أسوأ منطقة ثم طريقة DSM إذ تركز هذه الأخيرة على التأخير الزمني من نهاية إلى نهاية (End-to-End Delay) وتتسامح فقط مع الاتصال بقفزتين مباشرتين (بنمط بنية تحتية) مع المحطة القاعدية نفسها ضمن الشبكة المدروسة (القفزة هي الاتصال المباشر بين عقدتين في الشبكة مهما كان نوعهما). يوضح الجدول (3) حالة عقد الشبكة الموجودة في مناطق التراكب فقط (لا تهتمنا باقي العقد لأنه لا يمكن تبادلها بهدف موازنة الحمل بين

الآن لنناقش باقي الحالات الواردة في الجدول التي جميعها لا تتحفظ عليها طريقة الـ DSM لأنها تتم وفق قفزة واحدة وإنما فقط تُرفض أو تُقبل من وجهة نظر طريقة أسوأ منطقة. وهذه الحالات هي: العقد 3، 4 و 6 لا يمكن نقلها إلا في حال وصول خوارزمية أسوأ منطقة إلى المنطقة Z1 لأنها من الدرجة الثانية. العقد 8 و 9 أيضاً لا يمكن نقلها لأنها تتصل بمحطة قاعدية BS2 متوازنة والمحطة القاعدية الهدف BS3 هي بحالة تحميل زائد. العقد 5 لا يمكن نقلها لأنها تتصل مع محطة قاعدية تحت التحميل BS1، وهدفنا في موازنة الحمل تخفيف الحمل عن المحطة القاعدية فوق التحميل وليس تحت التحميل، ويجري النقل فقط من محطة قاعدية فوق التحميل إلى أخرى مجاورة تحت التحميل. العقد 10 و 11 أيضاً لا يمكن نقلها لأنها تتصل بمحطة قاعدية فوق التحميل BS3 والمحطة القاعدية المجاورة BS2 متوازنة.

خلاصة لما سبق فإن الحل المقترح في موازنة الحمل باستخدام كلتا الطريقتين معاً هو: أن تُطبق أولاً خوارزمية موازنة الحمل بمقارنة أسوأ منطقة ثم طريقة الـ DSM للتعميم؛ وذلك بهدف تجنب الإساءة إلى خدمة زبائن الزمن الحقيقي من خلال تقليل التأخير الزمني من طرف إلى طرف، وبعدها يُتخذُ القرار النهائي بتبادل العقد التي تلبي شروط كلتا الخوارزميتين.

6- تحليل النتائج (Results Analysis)

يمكن تطبيق خوارزمية موازنة الحمل وفق طريقة أسوأ منطقة بالتزامن مع طريقة الـ DSM، لكن لهذا عدة اعتبارات أهمها تعقيد خوارزمية موازنة الحمل إذ ستكون عبارة عن خوارزميتين، وهذا يحتاج إلى زمن معالجة أكبر، ويجب أن يكون المخدم المركزي الذي يقوم بموازنة الحمل ذا مواصفات عالية تمكنه من إنجاز عمله بسرعة كبيرة حتى لا تتأثر تطبيقات الزمن الحقيقي وخصوصاً بمشكلة التأخير الزمني. لكن بالمقابل ستكون خوارزمية موازنة الحمل ككل أدق وأكثر فاعلية من حقيقة أن طريقة الـ DSM تأخذ بالحسبان الاتصال

يمكن من وجهة نظر طريقة الـ DSM نقل العقدة 12 إلى المحطة تحت التحميل BS1، لأن اتصالها الجديد سيكون على ثلاث قفزات (قفزة منها باتجاه المحطة BS1، وقفزة من المحطة BS1 إلى المحطة BS3، وثالثة من المحطة BS3 إلى العقدة 15). وسبب التحفظ على النقل هو حتى لا تشغل المحطتين القاعديتين 1 و 3 بتبادل المعطيات، ومن ثمّ علينا فقط ترك المحطة BS3 تشغل بتراسل المعطيات، وكذلك عمليات التأشير (التشوير) (Signaling) بين هاتين الطرفين، ومن جهة أخرى نقل عدد القفزات (Hops) اللازمة لتأمين الاتصال (ميزات). لكن بالمقابل يجب على خوارزمية موازنة الحمل بمقارنة أسوأ منطقة مرة أخرى هنا الذهاب إلى المنطقة الأسوأ من الدرجة الثانية (سيئة من حيث التأخير الزمني وعلى حساب جودة الحل (أي بيتا أقل وانحراف معياري أكبر))، وفي حالتنا لا يمكن التحسين في المناطق المتبقية كلها (المنطقة من الدرجة الثانية والثالثة وحتى الرابعة). حالة أخرى واردة في الجدول لا يمكن فيها تطبيق طريقة أسوأ منطقة ولا حتى طريقة الـ DSM هي مع العقدة 13 لأنها تشكل جسراً وكذلك أن الاتصال من خلالها يكون وفق قفرتين (إحدهما من النوع Ad-hoc) لتأمين اتصال العقدة 18.

الجدول (3): مقارنة بين طريقة الـ DSM وطريقة أسوأ منطقة

طريقة الـ DSM	طريقة أسوأ منطقة	عدد القفزات	حالة الـ BS	العقد والاتصال
√	√ درجة ثانية	1	Over-loaded	3, 4, 6 with BS2
√	×	1	Over-loaded	8, 9 with BS2
√	×	1	Under-loaded	5 with BS1
√	×	1	Over-loaded	10, 11 with BS3
√	√	1	Over-loaded	12 with BS3
×	×	2	Over-loaded	13 with 18 and BS3
×	√	2	Over-loaded	12 with 15 by BS3

المعطيات فضلاً عن عمليات التأشير التي قد ترهق الشبكة، هذا كله تقتصر له خوارزمية موازنة الحمل من دون تطبيق طريقة الـ DSM معها.

كأعمال مستقبلية لهذا البحث يمكن التفكير بتطبيق طريقة الـ DSM في الشبكة اللاسلكية المحلية المتخصصة النقالة (MANET) Mobile Ad-hoc مع بروتوكولات التوجيه (Routing Protocols) لاختيار أفضل مسار (Best Routing) لتدفق حركة المرور باتجاه المحطة المُخدّمة، سواءً باستخدام بروتوكولات التوجيه الاستباقية (Proactive) منها أم النفاغلية (Reactive) التي تركز على عدد الفجرات أو حمل المسار المقترح [13]) ونشبيها مع شبكة WiMax من خلال الموجهات وتطبيق خوارزمية موازنة الحمل ودراسة أداء الشبكة المدمجة WiMax-MANET. كما يمكن استخدام وسيلة لقياس الزمن من النهاية للنهية ومعرفة قيمة التأخير الزمني ودراسة تأثير موازنة الحمل في تطبيقات الزبائن في هذه الحالة. من جهة أخرى، يمكن القيام بمقارنة نتائج آلية تنفس الخلية ونتائج خوارزمية موازنة الحمل مع استخدام طريقة الـ DSM التي طُبِّقت في هذا البحث. كما يمكن التفكير بإمكانية دمج الشبكة WiMax مع شبكة الخليوي من الجيل الرابع 4G (LTE-Advanced) أو دمج الشبكة Wi-Fi مع WiMax مع التركيز على مطابفة صفوف الخدمة بين هذه الشبكات واقتراح استراتيجيات مناسبة لتبديل الوصلات لتأمين استمرارية الاتصال مع ضمان جودة الخدمة، وهذا مجال بحثي مطروح حالياً.

من طرف لطرف (End-to-End) فهي تأخذ بالحسبان مسار تدفق حركة المرور فضلاً عن تسلسل المهام، الشيء الذي تقتصر إليه خوارزمية موازنة الحمل بمقاربة أسوأ منطقة. لكن أيضاً بالمقابل تقلل طريقة الـ DSM من أداء خوارزمية موازنة الحمل لأنها ستجعل المرشح الأفضل هو المرشح من الدرجة الثانية أو أكثر، وكذلك قد تفرض عليها الانتقال إلى المنطقة الأسوأ من الدرجة الثانية أو أكثر (للبحث عن طريقية لتبديلها وقد لا تجد) كما رأينا في معالجة الحالة البسيطة السابقة.

7- الخاتمة والأعمال المستقبلية (Conclusion and Future Work)

حسنت خوارزمية موازنة الحمل أداء الشبكة WiMax ذات البنية التحتية من خلال زيادة جودة الخدمة ولاسيما زيادة معدل النقل للطرفية؛ وهذا بدوره يزيد عدد المستخدمين الذين يمكنهم الحصول على الخدمة. والنتيجة أن عملية موازنة الحمل في الشبكة تؤدي إلى زيادة معدل النقل لكل طرفية متصلة بمحطاتها القاعدية، كما تسمح للمحطات القاعدية التي هي تحت التحميل أو متوازنة بقبول زبائن جدد وبذلك يزداد استخدام الموارد (أي تزداد سعة الشبكة). أمّا عند تطبيق خوارزمية موازنة الحمل على شبكة WiMax بنمط تشابكي فقد قلل هذا من أداء الشبكة نتيجة استثناء العقد التي تشكل جسر عبور، لكن بالمقابل لم نسي للزبائن المتصلين بنمط Mesh بل دُعِمَ زبائن هذا النمط. وهذا هو هدف أي مشغل خدمة إذ من وجهة نظر الزبون لا يهمله تحسين أداء الشبكة إنما أن تعطيه الشبكة جودة خدمة تلبي حاجة تطبيقه ودون انقطاع. كما وجدنا أن تطبيق طريقة الـ DSM أدى كذلك إلى تقليل جودة خوارزمية موازنة الحمل، لكن هذه الطريقة تهتم بخدمة الاتصال من النمط نهاية لنهية (End-to-End Service)، كما يمكن من خلال هذه الطريقة تقليل تدفق المعطيات بين المحطات القاعدية وتقليل عدد الفجرات (تقلل التأخير الزمني)، وهذا بدوره يقلل من إشغال المحطات القاعدية بتراسل

9- مسرد المصطلحات

AP	Access Point
BS	Base Station
BC	Best Candidate
BE	Best Effort
DSM	Design Structure Matrix
ErtPS	Extended Real-time Polling Service
LTE	Long Term Evolution
MANE	Mobile Ad-hoc Network
T	
nrtPS	No real-time Polling Service
QoS	Quality of Service
rtPS	real-time Polling Service
STA	Station
UGS	Unsolicited Grant Service
Wi-Fi	Wireless Fidelity
WiMax	Worldwide Interoperability for Microwave Access

- HSDPA, concurrence ou coexistence ?”
Technical report, NORTEL-TELECOM PARIS,
14 septembre 2006.
12. Browning R. Tyson. Applying the design structure matrix to system decomposition and integration problems: A review and new directions. IEEE TRANSACTIONS ON ENGINEERING MANAGEMENT, 48:292–306, August 2001.
13. Purity Kipkoech, 'Performance Analysis of MANET Routing Protocols using NS-3 Mobility', Master of Science in Communication Technology, 2013.
- 8- المراجع (References):***
1. تحسين أداء الشبكات اللاسلكية WiMax باستخدام خوارزمية موازنة الحمل، مجلة جامعة دمشق للعلوم الهندسية، دمشق في 14/7/2014، رقم 1069/و.د.
2. V. Aleo Load Distribution In IEEE 802.11 Cells, Master of Science Thesis, KTH, Royal Institute of Technology, March 2003.
3. Brickley, O., Rea, S., and Pesch, D., Load Balancing for QoS Enhancement in IEEE802.11e WLANs using cell breathing techniques, International Conference in IFIP Mobile and Wireless Communication Networks, Marrakech, Morocco 3669/2005 (2005), 367–378.
4. Farhad Soleimanian Gharehchopogh, Zeinab Abbasi Khalifehlou, Analysis and Evaluation of Dynamic Load Balancing in IEEE 802.11b Wireless Local Area Networks, IJCA, International Journal of Computer Applications (0975 – 8887) Volume 47– No.22, June 2012.
5. Book under the direction of Pierre Rolin, “Réseaux ATM”, HERMES SCIENCE PUBLISHING Ltd, en association avec le groupe LAVOISIER, Février 2002.
6. IEEE Standard for Local and metropolitan area networks Part 16 : Air Interface for Fixed and Mobile Broadband Wireless Access Systems, IEEE Std 802.16e™-2005 and IEEE Std 802.16™-2004/Cor1-2005 (Amendment and Corrigendum to IEEE Std 802.16-2004), 28 February 2006.
7. http://en.wikipedia.org/wiki/IEEE_802.16
8. P. Pace, G. Aloï, S. Marano, “A multilayered architecture supporting quality de service for multimedia traffic connections”, Proceedings of the IEEE Vehicular Technology Conference (VTC Spring), Stockholm – Sweden, page(s) : 2702-2706, 30 May-1 June 2005.
9. K. Gakhar; M. Achir, A. Gravey, “How Many Traffic Classes Do We Need In WiMAX ?”, Wireless Communications and Networking Conference, 2007.WCNC 2007. IEEE, page(s):3703 – 3708, 11-15 March 2007.
10. K. Boussetta, “Méthodes Numériques et Protocoles pour le Support du Multicast dans les Réseaux Fixes et Mobiles” ; Thèse de Doctorat, Université de Versailles St-Quentin-en-Yvelines, 2003.
11. H. Tallon, “Haut débit mobile : WiMAX et