مجلة جامعة تشرين للبحوث والدراسات العلمية _ سلسلة العلوم الهندسية المجلد (37) العدد (1) 2015
Tishreen University Journal for Research and Scientific Studies - Engineering Sciences Series Vol. (37) No. (1) 2015

سماحية الأعطال في الشبكات التطبيقية متعددة البث

الدكتور مثنى القبيلي•
الدكتورة بشرى معلا••

(تاريخ الإيداع 1 / 9 / 2014. قُبِل للنشر في 27/ 1 / 2015)

□ ملخّص □

تبني الشبكات التطبيقية متعددة البث شجرة تغطية بث مجموعاتي بين المضيفين النهائيين. على عكس البث المجموعاتي التقليدي حيث تكون عقد الشجرة الداخلية هي موجهات مكرسة، تكون ثابتة ولا تغادر شجرة البث المجموعاتي طوعاً، فإن العقد غير الطرفية في شجرة التغطية هي عبارة عن مضيفين أحرار يمكنهم الانضمام/المغادرة متى أرادوا ذلك، أو حتى المغادرة دون إخبار أي عقدة بذلك. لذلك، يمكن للعقدة المغادرة فجأة دون إعطاء عقدها الأبناء أو العقدة المركزية الزمن الكافي لإعادة تشكيل شجرة التغطية، لذلك فهناك حاجة لتنفيذ عملية إعادة تشكيل الشجرة بحيث يجب على كل عقدة ابن إعادة الانضمام إلى شجرة التغطية. في هذه الحالة، ستنفصل هذه العقد عن شجرة التغطية ولا يمكنها الحصول على البيانات حتى تنضم من جديد. تسبب هذه الخصائص الديناميكية عدم استقرار شجرة التغطية، والتي يمكن أن تؤثر بشكل كبير على المستخدم.

أحد التحديات الرئيسية في بناء بروتوكول شبكة تطبيقية متعدد البث كفوء وفعال هو توفير آلية استعادة البيانات بسرعة عندما يسبب فشل عقد الشجرة تقسيم مسارات تسليم البيانات. سنقوم في هذا البحث بتحليل أداء الحلول المقترحة لإعادة تشكيل شجرة التغطية اعتماداً على عدة بارامترات.

الكلمات المفتاحية: البث المجموعاتي، الشبكات التطبيقية متعددة البث، سماحية الأعطال، الطرائق التفاعلية، الطرائق الاستباقية.

• مدرس– قسم هندسة الاتصالات والالكترونيات – كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية– جامعة تشرين– اللاذقية – سورية.
••مدرسة – قسم هندسة الاتصالات والالكترونيات – كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية– جامعة تشرين– اللاذقية –سورية .

مجلة جامعة تشرين للبحوث والدراسات العلمية _ سلسلة العلوم الهندسية المجلد (37) العدد (1) 2015
Tishreen University Journal for Research and Scientific Studies - Engineering Sciences Series Vol. (37) No. (1) 2015

Fault Tolerance in Application-Level Multicast Networks

Dr. Mothanna Alkubeily •
Dr. Boushra Maala ••

(Received 1 / 9 / 2014. Accepted 27 / 1 / 2015)

□ ABSTRACT □

Overlay multicast (Application-Level Multicast (ALM)) constructs a multicast delivery tree among end hosts. Unlike traditional IP multicast where the internal tree nodes are dedicated routers which are relatively stable and do not leave the multicast tree voluntarily, the non-leaf nodes in the overlay tree are free end hosts which can join/leave the overlay at will, or even crash without notification. So, the leaving node can leave suddenly and cannot give its descendants (and the Rendez-vous Point (RP)) the time to prepare the recovering (the reconnection) of the overlay tree, and so there is a need to trigger a rearrangement process in which each one of its descendants should rejoin the overlay tree. In this case, all of its downstream nodes are partitioned from the overlay tree and cannot get the multicast data any more. These dynamic characteristics cause the instability of the overlay tree, which can significantly impact the user.

A key challenge in constructing an efficient and resilient ALM protocol is to provide fast data recovery when overlay node failures partition the data delivery paths. In this paper, we analyze the performance of the ALM tree recovery solutions using different metrics.

Keywords: Multicast, Application-Level Multicast, Fault Tolerance, Reactive methods, Proactive Methods.

• **Assistant Professor, Departement of Communication and Electronics, Faculty of mechanical and electrical engineering, Tishreen University, Lattakia, Syria.**

•• **Assistant Professor, Departement of Communication and Electronics, Faculty of mechanical and electrical engineering, Tishreen University, Lattakia, Syria.**

مقدمة:

يعتبر علم شبكات الحاسب من أهم العلوم المتعلقة بالحاسب في العصر الحديث، لأنها تتيح فرصة الاتصال وتبادل المعلومات بين مستخدمي الأنظمة المتباعدة بسهولة ويسر. ومع انتشار الوسائط المتعددة (Multimedia) واستخدامها في العديد من المجالات وخاصةً في تطبيقات الفيديو عند الطلب، التعليم عن بعد والكثير من التطبيقات الحيوية الأخرى؛ فقد زادت الحاجة لنقل المعلومة لأكثر من مستخدم واحد بنفس الوقت وهو ما يسمى بتقنية البث المجموعاتي (Multicast) [1] ويتم ذلك في طبقة الشبكة (Network Layer).

يتم في هذه التقنية نقل المعلومات إلى مجموعة من المستخدمين عن طريق بناء شجرة من الموجهات تغطي هؤلاء المستقبلين، لذا تسمح هذه التقنية بربح هام في مجال استهلاك عرض الحزمة في الشبكة. لكن على الرغم من فوائدها المتعددة، فإن هذه التقنية تواجه العديد من المشاكل [2] التي تؤدي إلى حسر انتشارها على المستوى العالمي وخصوصاً على مستوى المستخدم النهائي، مثلاً: لاتدعم كل الموجهات في الشبكة العالمية إمكانية البث المجموعاتي، لذا لابد من تغيير هذه الموجهات وشراء موجهات أخرى جديدة أو شراء برمجيات جديدة من أجل الموجهات القديمة وفي كلتا الحالتين سيكلف ذلك كثيراً، إضافة إلى صعوبة إدارة الأعضاء في المجموعات الديناميكية، وتعقيدات تأمين سرية اتصالات المجموعة، ... الخ.

لذلك تم اقتراح الشبكات التطبيقية متعددة البث (Application-Level Multicast or Overlay Multicast (ALM)) [3] التي تعمل في طبقة التطبيقات كبديل فعال واعد لمواجهة مشاكل عدم انتشار شبكات البث المجموعاتي. الفكرة الأساسية لـ ALM هي بناء شجرة تغطية بين كل عقد المجموعة في أعلى الشبكة الفيزيائية، ويتم بعد ذلك نقل البيانات أو المعطيات بين العقد باستخدام البث الأحادي unicast من خلال هذه الشجرة. لهذه التقنية العديد من المزايا مقارنةً بالبث المجموعاتي: أولاً سهولة الانتشار، حيث لاتتطلب أي تغيير في مستوى طبقة الشبكة، ويتم إدارة الانضمام إلى المجموعة، وتكرار وإرسال رزم البيانات وصيانة الحالة ضمن الجلسة من قبل الأعضاء أنفسهم وليس هناك أي حاجة لأي دعم أو مساندة خاصة من الموجهات التي لاتلعب أي دورٍ خاص في بروتوكولات ALM. اعتماداً على تقنية البث الأحادي، تستطيع بروتوكولات ALM الاستفادة من قدرات البروتوكولات في الطبقات الأدنى من أجل دعم الموثوقية، إدارة الازدحام والأمن، ... الخ حسب احتياجات التطبيق أو الخدمة المطلوبة. لذلك يمثل ALM حلاً وسطياً فعالاً بين فعالية البث المجموعاتي وسهولة انتشار اتصالات المجموعة.

أهمية البحث و أهدافه:

هنالك العديد من التطبيقات التي تدعمها هذه الشبكات [3]، نذكر منها: بث المؤتمرات، والتعليم عن بعد، وتطبيقات مؤسسات – مستخدمين، والفيديو عند الطلب، ونقل الفيديو.... الخ.

بالرغم من الفوائد العديدة التي قدمتها الشبكات التطبيقية متعددة البث، لكنها لم تستطع حل كل مشاكل البث المجموعاتي؛ مثل نقص استقرار شجرة التغطية والحاجة لإعادة تنظيم هذه الشجرة بعد كل مغادرة لعقدة من الشجرة، مما يسبب مشكلة أساسية في أي بروتوكول ALM. يمكن القول بأن هذه المشكلة هي مشكلة هامة جداً في هذه الشبكات، وذلك لأن العقد الوسطية في ALM هي عبارة عن عقد حرة تستطيع الانضمام ومغادرة المجموعة بشكل إرادي وبأي وقت تريد، وعلى عكس الحالة في شبكات البث المجموعاتي حيث أن العقد الوسطية هي عبارة عن موجهات ثابتة لا تستطيع مغادرة الشبكة بإرادتها. لذا فقد ينتج عن مغادرة عقدة من الشبكة قطع الاتصال بشكل كامل عن كل العقد

الأدنى المتصلة بهذه العقدة المغادرة. وفي حالة الجلسات عالية الديناميكية، فإن عملية إعادة تنظيم شجرة التغطية يمكن أن يكون مكلفاً جداً ويمكن أن يشوش (يعكّر) عمل الجلسة وخصوصاً في حالة تطبيقات الوسائط المتعددة.

طرائق البحث ومواده:

تم تهيئة المحاكاة باستخدام مخططات مستوية عشوائية Random flat graphs وباستخدام نسخة معدلة من خوارزمية واكسمان Waxman مكتوبة باستخدام مكتبة الشبكات في بايثون NetworkX Python library[1]. تبني هذه التقنية مخططات تملك خصائص مشابهة لشبكات الانترنت، ويتم إضافة الوصلات بين العقد باستخدام النموذج الاحتمالي Probabilistic Model.

قمنا باستخدام نموذج الميروث–عمار الموضح في [4, 5] من أجل توليد جلسات شبكة تطبيقية متعددة البث حقيقية. يقترح هذا النموذج جلسات ديناميكية يمكن نمذجتها كالآتي: يصل المستخدمون إلى المجموعة وفقاً لعملية بواصون Poisson Process بمعدل (Arrivals/Time Unit)λ، وبمدة إقامة لكل عضو في المجموعة معادلة لـ (Time Unit) μ /1 موزعة بشكل أسي (Exponential Distribution)، لذا يُعطى العدد الوسطي للمستخدمين في المجموعة الجزئية بـ λ/μ.

1. الشبكات التطبيقية متعددة البث

هي عبارة عن شبكة افتراضية تبنى بمستوى أعلى من الموجهات والوصلات، وتعتمد على فكرة التغطية (Overlay) كركيزة لإضافة خدمات شبكية جديدة ونشرها، أو لتوفير طوبولوجيا خاصة للتوجيه غير متوافرة في الشبكة الفيزيائية الأساسية. إذ يتم تشكيل شجرة التغطية من المضيفين المشاركين في جلسة البث المجموعاتي، وتستخدم تقنية الإرسال وحيد الاتجاه (Unicast) بين كل زوج من المضيفين لتوزيع البيانات. كما يعالج المضيفون أنفسهم عمليات إدارة المجموعات والتوجيه وعملية بناء الشجرة دون دعم الموجهات [6].

مع افتراض هذه التقنية، ظهرت نقاط القوة التي تتمتع بها [3] ومنها:

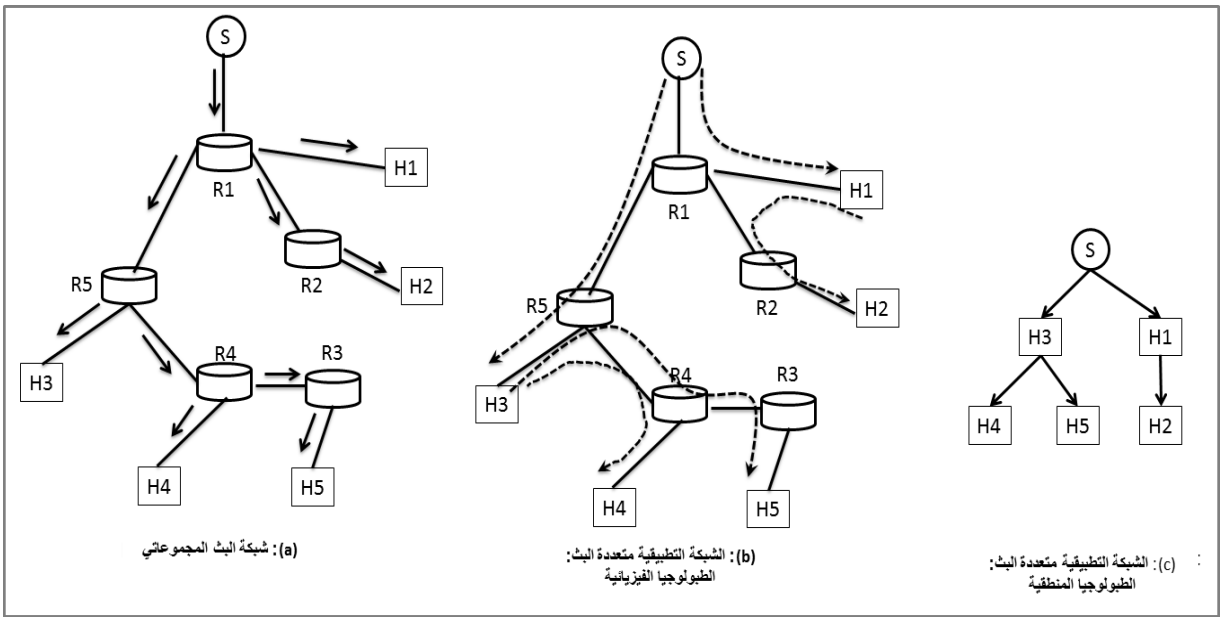
- غياب موجهات البث المجموعاتي، إذ يبني مخطط شجرة ALM دون الحاجة إلى وجود الموجهات، بمعنى آخر لا تحتاج الموجهات إلى الاحتفاظ بمعلومات عن مجموعات البث المجموعاتي، وهو ما يسمى (Stateless Routers).
- فعالية بروتوكولات الإرسال وحيد الاتجاه إذ أصبح الاتصال بين الطرفيات يتم باستخدام هذه البروتوكولات ويمكن الاستفادة من مزاياها حيث يمكن أن تعمل مباشرة في الـ ALM كما هو الحال مع بروتوكولات طبقة النقل TCP وUDP. وبذلك يمكن أن تستخدم بروتوكولات الطبقات السفلى لتحقيق الموثوقية (Reliability)، التحكم بالازدحام (Congestion Control)، التحكم بالتدفق (Flow Control) والأمان (Security) حسب ما يتطلبه التطبيق.

<u>مثال:</u> بفرض أن لدينا شبكة البث المجموعاتي المبينة في الشكل (1)، حيث S هو المنبع و R1, R2, R3, R4, R5 هي الموجهات وكل من H1, H2, H3, H4, H5 هي الطرفيات المتصلة بالموجهات.

نلاحظ أنه في حالة شبكات البث المجموعاتي (الشكل a–1)، يرسل المنبع نسخة واحدة من رزمة البيانات إلى الشبكة، وهنا يقع على عاتق كل موجه تكرار هذه الرزمة لإيصالها إلى الطرفية النهائية. فمثلاً عندما يستلم R1 الرزمة من S يقوم بتكرارها وإرسال نسخة إلى H1 وأخرى إلى كل من R2 و R5، والتي تقوم بتكرار الرزمة لإيصالها إلى

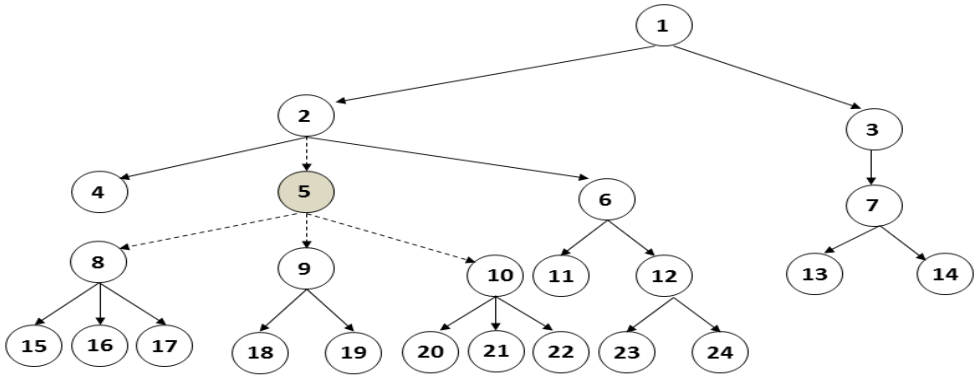
[1] https://networkx.lanl.gov/wiki

الطرفيات والموجهات المرتبطة بهما وهكذا. نلاحظ في الشكل (1–b) شجرة الـ ALM، حيث يتم بناء شجرة التغطية من أعضاء المجموعة فقط، ومن ثم يتم نقل رزمة البيانات من عقدة إلى أخرى عبر هذه الشجرة بتقنية الإرسال وحيد الاتجاه. فمثلاً عندما يستقبل H3 رزمة البيانات فإنه يعيد إرسالها إلى كل من H4 و H5. وهكذا يمكن بناء طوبولوجيا الشجرة بغض النظر عن الوصلات الفيزيائية، بمعنى أنه يتم بناء شجرة منطقية على مستوى أعلى من الشبكة الفيزيائية، كما هو مبين في الشكل (1–c).



الشكل (1): مثال عن تقنية الـ ALM

لكن المشكلة الأساسية التي تعاني منها هذه الشبكات هي أنه عند مغادرة عقدة وسطية من الشبكة فإن ذلك يؤدي إلى قطع الاتصال بشكل كامل عن كل العقد الأدنى المتصلة بهذه العقدة المغادرة وهو مايمكن تسميته بالعطل Fault. وفي حالة الجلسات عالية الديناميكية، فإن عملية إعادة تنظيم شجرة التغطية يمكن أن يكون مكلفاً جداً ويمكن أن يشوش عمل الجلسة وخصوصاً في حالة تطبيقات الوسائط المتعددة. فمثلاً عند مغادرة العقدة 5 ضمن الشكل (2)، فإن ذلك سيؤدي إلى قطع الاتصال عن عقدها الأبناء 22–15 ,10 ,9 ,8 والتي يجب عليها إعادة الانضمام إلى الشجرة من جديد لكي تستطيع الحصول على البيانات مرة أخرى، أي أنها ستخسر البيانات منذ لحظة الانقطاع وحتى إعادة الانضمام وسيكون مقدار الخسارة كبيراً تبعاً للتطبيق المدروس كما هو الحال في تطبيقات الزمن الحقيقي. لذا يجب عملياً البحث عن آلية لكشف العطل وأخرى للحد من تأثيره أو معالجة أشجار التغطية بطريقة تمنع حدوث أي عطل.



الشكل (2): تأثيرالعطل في شجرة الـ ALM

2. آليات اكتشاف العطل Failure Detection Mechanisms :

يوجد عملياً طريقتين أساسيتين لكشف هذا النوع من الأعطال في الشبكات التطبيقية متعددة البث.

2-1. طريقة رسائل الإنعاش Heartbeat Message Scheme :

تعتمد هذه الطريقة على فكرة أن كل عقدة تتبادل رسائل الإنعاش مع جيرانها كل z ثانية، وفي حال عدم تلقي إحدى العقد k رسالة إنعاش خلال الزمن z من العقدة المجاورة المحددة فإنها تعتبرها قد غادرت (أو فشلت) [7]، حيث أن z هو معامل تصميمي يمكن التحكم به، ويتم من خلاله تقييم أداء آلية تحديد الخطأ وعادة ما يؤخذ بمعدل ثلاث رسائل إنعاش كل خمس ثوان [8]. بما أن كل عقدة تقوم وبشكل مستقل عن بقية العقد باتخاذ قرارها حيال العقدة المغادرة وبقية العقد بناءً على عدم استقبالها لرسائل الإنعاش، فإن هذه الآلية في تحديد الخطأ تدعى الآلية اللاتعاونية لاكتشاف العطلnon-cooperative failure detection.

2-2. الطريقة التعاونية Cooperative Scheme:

تعتمد هذه الطريقة على تعاون جيران العقدة المدروسة مع بعضهم البعض كمجموعة، وبذلك تستطيع كل عقدة التوصل لاتخاذ القرار بشكل أسرع، وذلك لأنه في معظم الحالات تكون العقدة قادرة على تحديد فشل عقدة ما من خلال رسالة إنعاش واحدة بمساعدة العقد الأخرى التابعة لنفس المجموعة [8].

تقوم كل عقدة بإرسال رسالة إنعاش إلى جيرانها، وفي حال عدم استلام إحدى العقد لرسالة إنعاش من عقدة ما خلال زمن محدد فإنها سترسل رسالة استعلام Notification Message إلى كل عقدة من عقد المجموعة التعاونية، وفي حال استقبالها لرسائل إعلام من عقد أخرى من المجموعة التعاونية خاصة بنفس العقدة، فإنها ستعتبر مباشرةً بأن العقدة المذكورة قد وقعت في العطل. أما في حال استقبال العقدة لرسالة الإنعاش فلا يتم إرسال رسالة الاستعلام، لذا لا يتم توليد حمل فائض عند عمل العقد بشكل طبيعي وصحيح .

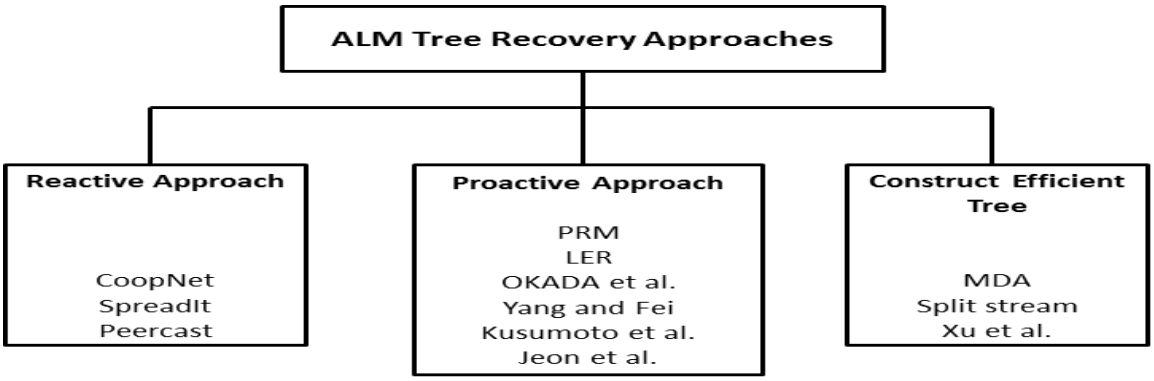
وبمقارنة الطريقتين السابقتين نجد أن كلاً منهما تعتمد على رسائل الإنعاش، لكن الطريقة الثانية هي الأكثر استخداماً حيث أنها تقلل الزمن اللازم لتحديد المشكلة، كما أنها تزيد وثوقية النتيجة التي تم التوصل إليها عن طريق تشكيل المجموعات التعاونية [8].

3. طرائق إعادة بناء شجرة التغطية ALM Tree Recovery Approaches:

يبين الشكل (3) طرائق إعادة بناء شجرة التغطية والتي سيتم دراستها لاحقاً.

3-1. الطريقة التفاعلية Reactive Approach:

إن الأسلوب الاعتيادي للتعامل مع ضياع الرزم هو طلب إعادة إرسالها، وتدعى هذه الطريقة بطريقة الاستعادة العمودية (Vertical Recovery)، حيث تبدأ العقد المتأثرة بالبحث لإيجاد آباء جدد لهم بعد اكتشاف مغادرة العقدة الأب [9, 10]. وفيما يلي سوف ندرس ثلاثاً من الطرائق التي تتبع هذا الأسلوب، مع العلم بأن معظم بروتوكولات التوجيه في هذا النمط من الشبكات يتبع الطريقة التفاعلية.



الشكل (3): طرائق إعادة بناء شجرة التغطية في الشبكات التطبيقية متعددة البث.

3-1-1. طريقة كوبنيت Coopnet :

تعتمد هذه الطريقة [11] على بنية الشجرة الكلية المعتمدة على العقدة الجذر RP (Rendez-vous Point) والتي تكون مسؤولة عن إيجاد المواقع في شجرة التغطية للعقد المتأثرة بمغادرة العقدة الأب، حيث تتواصل كل من هذه العقد المتأثرة مع RP لتطلب أباً جديداً. هذه الطريقة هي طريقة مركزية لأن جميع العمليات تخضع للعقدة الجذر وبذلك فهي تعاني من مشكلة نقطة واحدة للفشل Single point to failure.

3-1-2. طريقة سبريديت SpreadIt :

تبدأ العقد المتأثرة بمغادرة الأب بالبحث لإيجاد الأماكن المناسبة للانضمام من جديد وذلك ضمن الشجرة الفرعية للعقدة الجد أو للعقدة الجذر [12]، ولذا من المحتمل جداً أن تتواصل هذه العقد المتأثرة مع عقد مشبعة درجة الخدمة مما يؤدي إلى توجيهها إلى عقد أخرى حتى يتم الوصول إلى العقدة المناسبة مما يجعل عملية إعادة البناء تأخذ وقتاً طويلاً جداً.

3-1-3. طريقة البث للند Peercast :

تضم هذه الطريقة عدة نماذج مقترحة لإعادة بناء الشجرة بعد مغادرة عقدة ما [9]، من خلال تواصل الأبناء مع الجد أو مع الجذر.

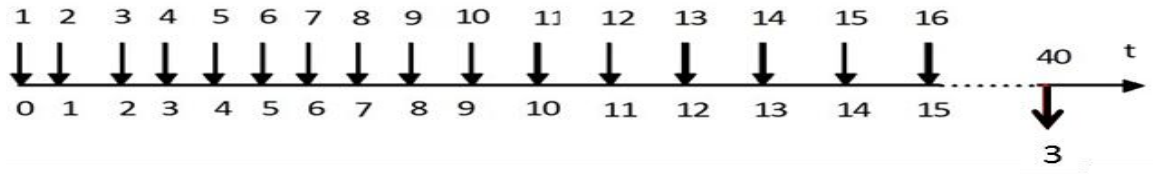
3-2. الطريقة الاستباقية Proactive Approach:

تعتمد بعض الأبحاث على الطريقة الاستباقية حيث تقوم كل عقدة وبشكل مسبق بوضع خطة إنقاذ قبل أن تتعرض للفشل أو أن تغادر الشبكة [7]. وتتضمن هذه الخطة تحديد أب بديل، وفي حال حصلت المغادرة فعلاً، فإن كل عقدة من العقد المتضررة يمكنها أن تتواصل مباشرةً مع الأب البديل [13, 14]. تتميز هذه الطريقة بانخفاض الزمن اللازم لإعادة بناء الشبكة. ولدراسة الآليات التي تستخدم مبدأ الطريقة الاستباقية سنطبق المثال التوضيحي الآتي:

لنفترض بأن لدينا 16 عقدة بحيث أن العقدة 1 هي العقدة المركزية RP، ودرجة خدمة كل عقدة max fanout = 3 وهو عدد الأبناء الأعظمي الذي يمكن أن تخدمه كل عقدة، و يبين الشكل (4) أحداث انضمام ومغادرة العقد والذي يبين الأزمنة التي انضمت فيها العقد إلى الجلسة وأ زمنة مغادرتها لها، بينما يبين الجدول (1) مسافات التأخير الزمني (Round Trip Time)RTT بين جميع العقد.

الجدول (1) : مسافات RTT بين عقد المثال التوضيحي :

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
1	-	10	10	15	25	30	22	32	30	10	15	30	20	22	25	40
2	10	-	10	12	20	15	12	30	30	35	30	25	30	30	30	35
3	10	10	-	8	10	12	10	25	15	20	10	15	14	15	20	25
4	15	12	8	-	10	10	10	15	25	25	30	20	28	30	25	30
5	25	20	10	10	-	15	25	15	10	15	15	10	20	15	10	20
6	30	15	12	10	15	-	29	15	30	22	25	10	12	12	5	25
7	22	12	10	10	25	29	-	20	15	15	25	25	15	20	15	15
8	32	30	25	15	15	15	20	-	10	10	20	15	10	15	10	10
9	30	30	15	25	10	30	15	10	-	10	15	10	5	10	15	20
10	10	35	20	25	15	22	15	10	10	-	5	15	12	15	15	15
11	15	30	10	30	15	25	25	20	15	5	-	5	20	25	12	10
12	30	25	15	20	10	10	25	15	10	15	5	-	10	15	10	15
13	20	30	14	28	20	12	15	10	5	12	20	10	-	5	22	20
14	22	30	15	30	15	12	20	15	10	15	25	15	5	-	12	25
15	25	30	20	25	10	5	15	10	15	15	12	10	22	12	-	5
16	40	35	25	30	20	25	15	10	20	15	10	15	20	25	5	-



الشكل (4): أحداث انضمام و مغادرة العقد.

3-2-1. طريقة البث المجموعاتي المرن الاحتمالي (PRM) Probabilistic Resilient Multicast:

بعد بناء الشجرة المنطقية باستخدام إحدى طرق ALM (بناء الشجرة المتداخلة أولاً أو بناء شجرة التغطية أولا)، تقوم كل عقدة وبشكل عشوائي بتبني عدد ثابت من العقد الأخرى لتكون بمثابة أبناء إضافيين لها إلى جانب أبنائها الأصليين في الشجرة المنطقية [15]، حيث تقوم العقدة بتوجيه الرزم إلى كل أبنائها إضافة إلى الأبناء الإضافيين اعتماداً على احتمالية محددة تكون أقل من الاحتمالية المستخدمة في توجيه الرزم إلى الأبناء الأصليين. لكن المشكلة التي تواجه هذه الطريقة هي احتمال ورود أكثر من نسخة من الرسالة نفسها إلى العقدة، أي تكرار رزم البيانات.

3-2-2. طريقة تغطية الخطأ الفرعية (LER) Lateral Error Recovery:

تعتمد هذه الطريقة على التوزيع العشوائي للعقد على عدد w من المجالات (planes) حيث $w \geq 1$ ($w = 1$ العودة إلى النظام التقليدي ذو الشجرة الواحدة) ونتيجة لهذه الطبيعة العشوائية في توزيع العقد فإن عقداً قريبة من بعضها يمكن أن تتبع مجالات مختلفة إضافة إلى نشوء حالة من عدم التوازن في عدد العقد بين المجالات المختلفة [10]. يتم بعد تحديد المجالات اختيار مصدر لكل مجال، بحيث يتم اختيار العقد القريبة من المصدر الأصلي لتكون مصادراً للمجالات ثم يتم بناء شجرة ALM خاصة بكل مجال، ويقوم المصدر الأصلي بإرسال البيانات إلى مصادر المجالات التي تقوم بدورها بتوزيع هذه البيانات على الأشجار التابعة لها. أما العقبة التي تواجهها فهي الحاجة إلى حمل حسابي مرتفع في البداية وذلك لاختيار العقد العلاجية المجاورة بالشكل الأمثل، فمن الممكن أن تقوم أكثر من عقدة باختيار العقدة العلاجية المجاورة نفسها وفي حال كان عدد الأبناء لهذه العقدة العلاجية قد وصل إلى حده الأعظمي فإنها لن تتقبل كل هذه العقد.

3-2-3. طريقة أوكادا والبقية OKADA et al. Scheme :

تملك كل عقدة إضافة إلى العقدة الأب المرتبطة معها، عقدة أخرى تعتبر أباً احتياطياً، ونعبر عن درجة خرج العقدة الأب ($\mathrm{Out-degree_{father\,node}}$) بأنها مستوى الخرج الذي يمكن لعقدة ما تقديمه، بينما نعبر عن درجة الدخل للعقدة ($\mathrm{In-degree_{child\,node}}$) بأنه مستوى الدخل الذي تتطلبه هذه العقدة والذي يجب على العقدة الأب تأمينه، لذا يجب تحقق الشرط الآتي [16]:

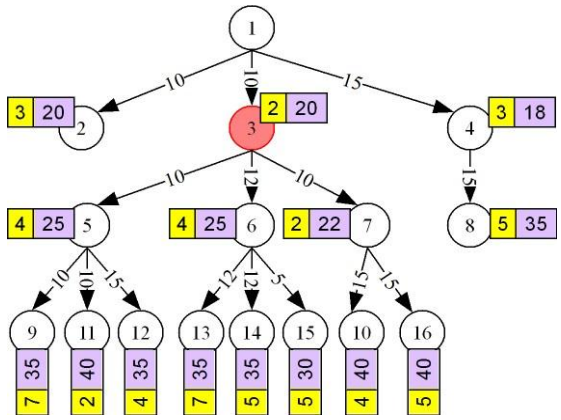
$$\mathrm{Out-degree_{father\,node}} \geq \mathrm{In-degree_{child\,node}}$$

انضمام عقدة : تقوم العقدة الجديدة بإرسال طلب انضمام إلى المصدر، يتضمن هذا الطلب معلومات عن درجتي دخل وخرج العقدة في حين تكون معلومات درجتي دخل وخرج المصدر معروفة، وتقوم جميع العقد في الشجرة باختبار معلومات درجتي الدخل والخرج الخاصة بها، لذا تصبح كل عقدة محققة للشرط السابق أباً مرشحاً للعقدة الجديدة، وننوه هنا إلى أن العقد التي تملك درجات خرج كبيرة يفضل أن تكون في موقع مرتفع من الشجرة ويمكن أن تتحلى بميزات مختلفة عن العقد الأخرى.

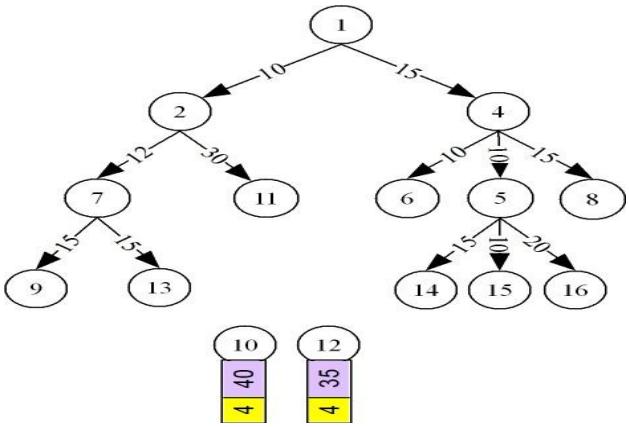
تقوم العقدة الجديدة باختيار الأب الأكثر ملاءمة من قائمة الآباء المرشحين، ويتم ذلك عن طريق إرسال العقد المرشحة للمعلومات الخاصة بها إلى العقدة الجديدة وذلك عبر المصدر، فتقوم العقدة الجديدة بتحديد الأب المناسب اعتماداً على بارامتر الزمن الأقصر حيث يتم قياس RTT لكل المرشحين، ويكون الأب المناسب هو المرشح الذي يعطي أقل تأخير ممكن من المنبع، ويتم اختيار ثاني أفضل عقدة (ثاني أصغر RTT) كأب احتياطي في حال وقع الأب الأساسي في العطل، وبعد ذلك تقوم العقدة بالانضمام مباشرةً إلى الأب الذي تم اختياره. و لتوضيح طريقة انضمام العقد لتشكيل شجرة التغطية اعتماداً على هذه الطريقة نطبق المثال التوضيحي، فتنتج شجرة التغطية المبينة في الشكل (5)، حيث نجد مثلاً أن العقدة 7 عند انضمامها اختارت العقدة التي تعطي الطريق الأقصر إلى المنبع (العقدة 3) كأب لها وسجلت العقدة التي تعطي ثاني أقصر طريق إلى المنبع (العقدة 2) كأب احتياطي لها في حال وقعت العقدة 3 في العطل.

إعادة البناء : وجدنا أن كل عقدة في الشجرة تكون قد حددت وبشكل مسبق أباً احتياطياً، لذا عند مغادرة إحدى العقد فإن العقد المتأثرة يمكنها وبشكل مباشر إرسال طلب انضمام إلى الأب الاحتياطي واعتباره الأب الجديد. تستمد هذه الطريقة قوتها من أن التأخير الزمني لإعادة بناء الشجرة ومعاودة العمل منخفض جداً مقارنة فيما لو أن العقد المتأثرة ستتبع إجراءات الانضمام الاعتيادية من البداية [15]. لكن المشكلة التي تواجه هذه الطريقة هي أنه في حال كان هذا الأب الجديد غير قادر على استيعاب هذه العقدة (عقدة الأب الاحتياطي وصلت إلى عدد الأبناء الأعظمي) فإنها ستبقى دون اتصال وستتبع خطوات الانضمام من جديد كما لو أنها ستنضم لأول مرة.

يبين الشكل (6) الشجرة معادة البناء، وبعد مغادرة العقدة 3، تكون كل من العقد المتأثرة الممثلة بالعقد7 ,6 ,5 و العقد 16 – 9 قد سجلت مسبقاً المعلومات عن العقد المرشحة كآباء احتياطيين لها، لذا وتبعاً لهذه المعلومات تتصل كل عقدة مع الأب الاحتياطي المحدد لها ولكن بما أن لكل عقدة درجة خدمة أعظمية مقدرة في مثالنا بالقيمة 3، نلاحظ وجود عقد مثل العقدتين 10,12 غير قادرة على الارتباط مع الآباء الاحتياطيين بسبب عدم قدرتها على الاستيعاب، لذا يتوجب على هذه العقد إتباع إجراءات الانضمام من جديد والبحث عن أب جديد.



الشكل (5): بناء الشجرة باستخدام طريقة .OKADA et al.



الشكل (6): الشجرة معادة البناء بعد مغادرة العقدة 3.

3-2-4. طريقة يانغ وفي Yang and Fei Scheme :

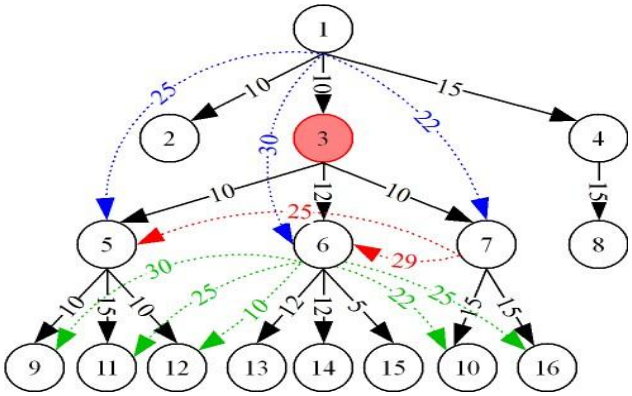
تعتمد هذه الطريقة على استخدام رزم التحكم Control Packets، حيث تقوم كل عقدة وسطية بإعداد خطة إنقاذ مسبقة قبل مغادرتها أو وقوعها في العطل، وتتضمن خطة الإنقاذ هذه القيام بحسابات وقياسات مسبقة بهدف إيجاد أب احتياطي لكل من أبنائها[14, 17].

انضمام عقدة : تقوم العقدة الجديدة بإرسال طلب انضمام إلى إحدى عقد الشجرة، وفي حال قدرة هذه العقدة على الاستيعاب فإنها تقبل الطلب، وإلا وفي حال وصولها إلى درجة الخدمة الأعظمية فإنها تعيد توجيه الطلب إلى العقدة الابن ذات قدرة الاستيعاب الأكبر، وإلا فإنها سترفض الطلب وترسل الرد إلى العقدة الراغبة بالانضمام. وبفرض تمت عملية الانضمام بنجاح، عندها تصبح العقدة المنضمة قادرة على تحديد عناوين الأب والعقد الأبناء وكذلك تقوم بإجراء قياسات لإيجاد كل مما يلي:

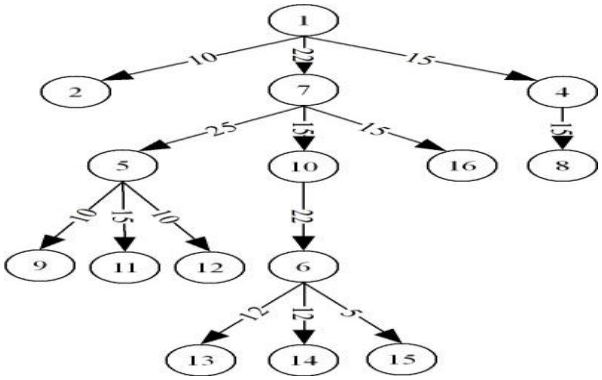
- ❖ قائمة العقد السلف (ancestors list) وتمثل مجموعة العقد الموجودة على طول الممر الممتد من العقدة الجذر إلى العقدة الأب ويتم تشكيل هذه القائمة بمساعدة العقدة الأب.
- ❖ درجة الخدمة المتبقية (residual degree) لكل عقدة ابن.
- ❖ درجة الخدمة الكلية المتبقية لكل من العقد التابعة للأشجار الفرعية المتجذرة عند كل عقدة ابن.
- ❖ الأب الاحتياطي ليتم التواصل معه في حال مغادرة الأب الأصلي أو وقوعه في العطل ويتم ذلك بقياس البعد بين كل من أبناء العقدة المغادرة والجد بحيث يتم اختيار الابن الأقرب إلى الجد ليتصل به مباشرة وبذلك تتم المحافظة على درجة خدمة الجد والذي نضمن قدرته على استيعاب العقدة المختارة كعقدة ابن بعد مغادرة الأب الأصلي. ويوضح الشكل (7) طريقة انضمام العقد لتشكيل شجرة التغطية اعتماداً هلى هذه الطريقة .

إعادة البناء : عند مغادرة عقدة ما، فإن العقد المتأثرة سوف تقوم بإرسال طلب انضمام إلى العقد التي تمثل الآباء الاحتياطيين وتقوم بتشغيل عداد، ففي حال كون الأب الاحتياطي مشبع وغير قادر على استيعاب العقدة، أو أن الزمن المخصص للعداد قد انتهى، فإن العقدة المتأثرة تحاول الانضمام إلى أحد أسلافها الممتدين حتى السلف الأقدم المتمثل بالجذر وتفادياً لإطالة الزمن يتم وبشكل مسبق اختيار ابن العقدة المغادرة الأقرب (crowded prince) إلى الجد ليتصل مباشرة معه مع المحافظة على العقد الأخرى المرتبطة مع الابن، أي الحفاظ على الأحفاد وتتاح الفرصة أمام العقد الأخرى لتتصل مع الآباء الاحتياطيين المختارين مسبقاً. وبذلك فإن عقدة ما كانت في السابق أخاً يمكن أن تصبح في الشجرة الجديدة ابناً، ومنه تكون مشكلة هذه الطريقة هي انخفاض فعالية الشجرة المبنية [14] إضافة إلى الحمل التحكمي الكبير بسبب القياسات المطلوب إجراؤها.

يبين الشكل (8) الشجرة معادة البناء بعد مغادرة العقدة 3 حيث يتم اختيار الابن الأقرب إلى الجد من بين أبناء هذه العقدة ليتصل معه وهو هنا العقدة 7، وبما أن 3=(7) fanout أي أنها قادرة على استيعاب عقدة واحدة أخرى، يتم اختيار أقرب أبناء العقدة المغادرة ليصبح ابناً للعقدة 7 (علماً أنه كان في السابق أخاً لهذه العقدة) وتستمر عملية اختبار الأبعاد حتى يتم إعادة ربط جميع العقد التي يمكن أن تتأثر بمغادرة العقدة 3. ونلاحظ انخفاض فعالية الشجرة بعد إعادة البناء فمثلاً العقدة 12 في الشجرة الأصلية كانت تبعد عن المصدر بمقدار 30 بينما أصبحت تبعد عنه بمقدار57 في الشجرة الجديدة، إضافة إلى الحمل التحكمي الكبير بسبب قياسات RTT المطلوبة.



الشكل (7): بناء الشجرة باستخدام طريقة Yang and Fei.



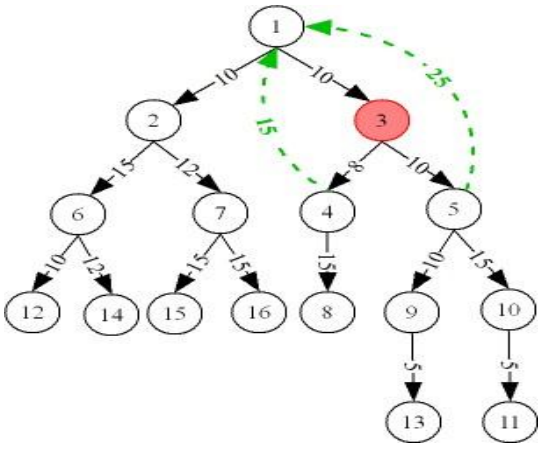
الشكل (8): الشجرة معادة البناء بعد مغادرة العقدة 3.

3-2-5. طريقة كوزوموتو والبقية Kusumoto et al . Scheme :

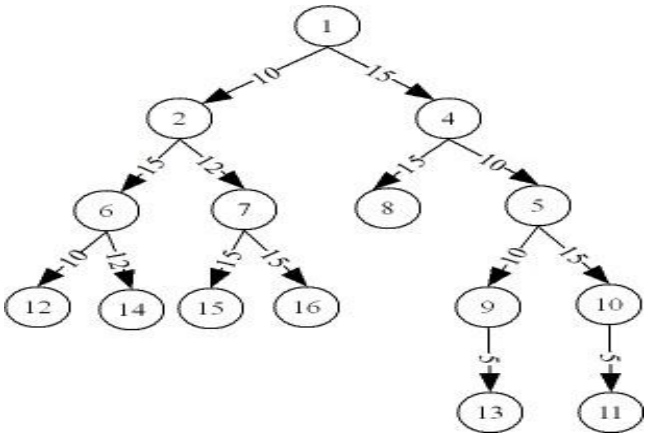
في هذه الطريقة، تترك كل عقدة من عقد الشجرة عند بناء الشجرة واحداً من درجة خدمتها الأعظمية كطريق احتياطي من أجل استيعاب العقد المتأثرة في حال حدوث أي عطل [18]: Max _ fan _ Kusumoto = max _ fan - 1

انضمام عقدة : كما ذكرنا أعلاه تنضم العقد إلى الشجرة مع ترك كل عقدة لواحد من درجة خدمتها الأعظمية احتياطياً، ولذلك تكون فعالية الشجرة المبنية منخفضة، ويبين الشكل (9) بناء الشجرة باستخدام طريقة Kusumuto وفق معطيات المثال التوضيحي.

إعادة البناء : في حال حدوث أي عطل فإنه سيتم بناء الشجرة الجديدة بسرعة كبيرة، لكن تكمن مشكلة هذه الطريقة بقلة فعالية الشجرة المعاد بناؤها لأن كلاً من الأبناء يترك أيضاً واحداً من درجة خدمته حراً، لذا يزداد طول الشجرة باتجاه الأسفل، أي يزداد التأخير الزمني للشجرة. وبالعودة إلى المثال التوضيحي وبفرض مغادرة العقدة 3 يقوم ابنها الأقرب إلى الجد بالاتصال معه وهو هنا العقدة 4 (حيث يستطيع الجد استيعابه حتماً لأنه كما كل العقد يكون قد ترك واحداً من درجة خدمته حراً من أجل حالات الفشل) وبذلك تكون الشجرة معادة البناء مبينة في الشكل (10).



الشكل (9): بناء الشجرة باستخدام طريقة Kusumoto et al .

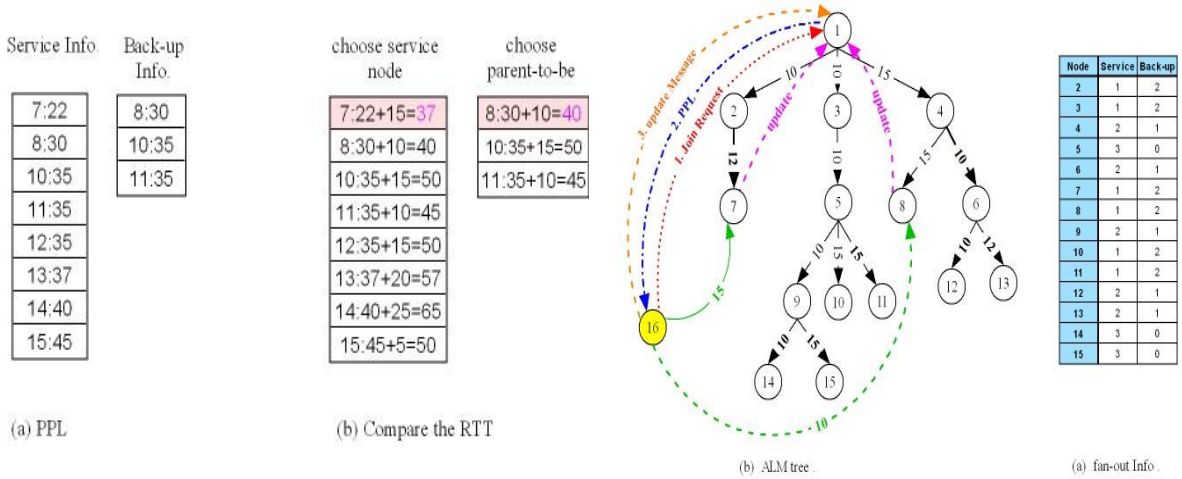


الشكل (10): الشجرة معادة البناء بعد مغادرة العقدة 3.

3-2-6 طريقة جيون والبقية Jeon et al . Scheme:

تعتمد هذه الطريقة على أن كل عقدة ماعدا عقدة الجذر تملك درجة تخديم (Service – out degree) ودرجة احتياط (Back up – out degree) كما في الشكل (b-11)، وتحدد درجة التخديم عدد العقد التي يمكن أن تخدَم من قبل العقدة المحددة، بينما تستخدم درجة الاحتياط لحجز طرق بديلة احتياطية في حال فشل العقدة الأب [19] .

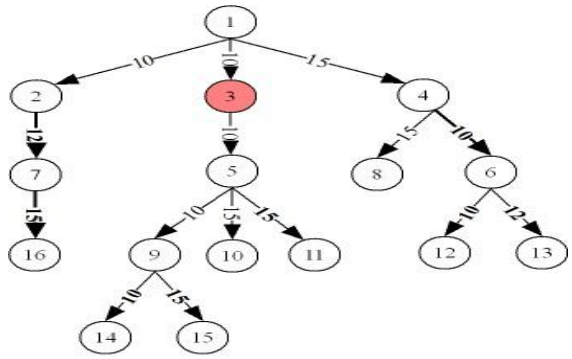
انضمام عقدة : تقوم العقدة الجديدة وهي في مثالنا العقدة 16 بإرسال طلب انضمام (join request) إلى العقدة الجذر، والتي ترد عليها بقائمة الآباء المحتملة PPL (Potential Parent List) كما في الشكل (a-11)، وتتكون هذه القائمة من قسمين أساسيين كما في الشكل (a-12) حيث القسم الأول هو العقد المرشحة التي يمكن أن تكون أباً لهذه العقدة الجديدة (Service)، و الثاني هو العقد المرشحة لتكون أباً احتياطياً لهذه العقدة (Back up).



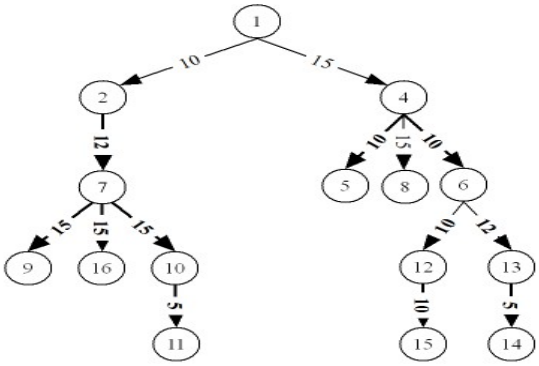
الشكل (11): انضمام عقدة إلى شجرة التغطية وفق طريقة Jeon et al . الشكل (12): إجراء قياسات RTT لاختيار الأب والأب الاحتياطي.

تقوم العقدة الجديدة بإجراء قياسات RTT إلى كل العقد المرشحة في قائمة PPL، وتختار العقدة التي تملك أقل RTT لتكون أباً لها من قائمة الـ Service والعقدة التي تملك أقل RTT كأب احتياطي من قائمة الـ Back up، كما في الشكل (b-12) حيث تم اختيار العقدة 7 كأب أساسي و العقدة 8 كأب احتياطي. ثم تتواصل العقدة الجديدة مع هاتين العقدتين، وبعد استلامهما الرسالة من العقدة الجديدة، ترسل العقدة الأب والعقدة المختارة كأب احتياطي رسالة تحديث إلى المصدر ليتم تحديث معلومات درجة الخدمة وقائمة الآباء المحتملة، ويتم بناء الشجرة كما في الشكل (13).

إعادة البناء : عند مغادرة إحدى العقد يتم إعادة بناء الشجرة بسرعة كبيرة جداً بسبب وجود درجات خدمة احتياطية لكل عقدة. ويبين الشكل (14) الشجرة معادة البناء بعد مغادرة العقدة3. وتكمن مشكلة هذه الطريقة بأن فعالية الشجرة المبنية تكون منخفضة جداً بسبب ترك العقد لأكثر من طريق احتياطي عند بناء الشجرة.



الشكل (13): الشجرة بعد انضمام العقدة 16.



الشكل (14): الشجرة معادة البناء بعد مغادرة العقدة 3.

3-3 المشكلات في طرق إعادة بناء شجرة التغطية :

تتلخص المشكلات في جميع طرق إعادة بناء الشجرة بالنقاط الآتية والتي تختلف نسبها بحسب الطريقة المستخدمة :

في الطريقة التفاعلية، يجب أن تتبع كل عقدة متأثرة (جراء مغادرة عقدة أعلى منها) خلال عملية إعادة التنظيم إجراءات إعادة الانضمام من جديد من أجل اختيار أبٍ جديد في شجرة التغطية. يمكن أن يكون تأخير إعادة الانضمام في هذه الطريقة كبيراً، مما يشوش على التطبيق/الخدمة بشكل كبير.

بينما على الجانب الآخر، تأخذ الطريقة الاستباقية بالحسبان مغادرة العقدة قبل حدوثه. تحسب كل عقدة، ماعدا جذر الشجرة، مساراً احتياطياً لحل مشكلة فشل الطريق الأصلي. باستخدام هذا الحل، سيتم إعادة بناء شجرة التغطية خلال زمن قصير جداً وبسرعة باستخدام هذه المسارات الاحتياطية. لذا يمكن أن تستقبل العقد المتأثرة البيانات بعد وقت انقطاع قصير جداً مقارنةً بالطريقة التفاعلية. لكن وبسبب العدد الكبير من الطرق الاحتياطية المحجوزة وعدد الأبناء الأعظمي المقيد لكل عقدة، فإن هذه الطريقة ستقود إلى بناء أشجار غير فعالة وغير مثالية.

3-4. بناء شجرة تغطية مقاومة للعطل Construct efficient overlay tree :

3-4-1. طريقة تجزئة تدفق المعطيات Split stream :

تستخدم هذه الطريقة عادة في التطبيقات التي تتطلب عرض حزمة كبير جداً حيث يتم تنظيم الأعضاء ضمن أشجار مختلفة بحيث أن كل عقدة تنتمي لأكثر من شجرة، تكون عقدة وسطية في إحدى الأشجار وطرفية في بقية الأشجار [20]. يتم تقسيم المعطيات المرسلة إلى أجزاء (strips) عددها k و حجم كل منها (Band width / k) ويتم إرسال كل منها عبر شجرة مستقلة من هذه الأشجار والهدف من ذلك هو خلق بنى مستقرة تحفظ توازن الأشجار قدر الإمكان.

3-4-2. طريقة الشبكات التطبيقية متعددة البث ذات مدة العضوية المدروكة (MDA-ALM) (Membership Duration Aware Application level Multicast):

وهي تقنية جديدة تعتمد على معرفة فترة الانضمام المتوقعة والمعلن عنها من قبل العضو المنضم من أجل بناء شجرة أكثر استقراراً حيث يتوضَع الأعضاء ذوي فترة البقاء الأقصر في المستوى الأدنى من الشجرة. ففي جميع التطبيقات متعددة البث يمكن أن يعلن المستخدم عن فترة بقائه المتوقعة حتى لو لم يكن واثقاً منها، وهو ما يمكن

استغلاله لتحديد موقع العضو في الشجرة بحيث أنه عندما يغادر الجلسة، سيكون في أغلب الحالات عقدة طرفية في الشجرة، أي لن يكون لديه أبناء ولن يكون هناك حاجة لإعادة البناء [21].

3-4-3. طريقة كزيو والبقية Xu et al :

بينت الدراسات [22] وجود عدة عوامل تؤثر على استقرار الشجرة كاحتمال مغادرة العقد والبنية الطبولوجية للشجرة والعدد الكلي للعقد في الشجرة. لذا فإن أخذ العوامل السابقة بالحسبان منذ تشكيل الشجرة يساعد في تخفيض المتطلبات اللازمة لإعادة بناء الشجرة بعد مغادرة إحدى العقد. تم التمييز بين الأنماط الرئيسية الآتية اعتماداً على البنية الطبولوجية.

1. الشجرة المظلة Umbrella Tree : تعتمد درجة الخدمة في المستوى الأول على العقدة، بينما كل عقدة في المستوى الثاني لها ابن واحد فقط fanout=1.

2. الشجرة الثنائية 2-Ary Balanced Tree (Complete Binary Tree) : كل عقدة تملك ابنين أي fanout=2.

3. شجرة المظلة المعكوسة Reverse Umbrella Tree : بعكس شجرة المظلة درجة الخدمة في المستوى الأول تساوي الواحد بينما تعتمد درجة الخدمة في المستوى الثاني على العقدة.

4.المحاكاة وإظهار النتائج

4-1. بيئة المحاكاة Simulation Environment

تم تهيئة المحاكاة كما ذكرنا باستخدام مخططات مستوية عشوائية Random flat graphs وباستخدام نسخة معدلة من خوارزمية واكسمان Waxman مكتوبة باستخدام مكتبة الشبكات في بايثون NetworkX Python library. من أجل محاكاتنا، تم استخدام مخططات بـ 500 عقدة ومع درجة عقدة متوسطة مكافئة لـ 3. كانت قيم تأخير الوصلة عشوائية بين 1 و 5 ميلي ثانية.

قمنا باستخدام نموذج الميروث-عمار الموضح في [4, 5] من أجل توليد جلسات شبكة تطبيقية متعددة البث حقيقية. تم أخذ 3 حالات في محاكاتنا: الطريقة التقليدية لبناء الأشجار في هذا النمط من الشبكات كمثال عن الطريقة التفاعلية، والبروتوكول Kusumoto كمثال عن الطريقة الاستباقية والبروتوكول MDA كمثال عن آلية بناء أشجار أكثر ثباتاً.

4-2. البارامترات المحددة لأداء الشبكات التطبيقية متعددة البث

يوجد عدة بارامترات [3, 23] تحدد أداء عمل الشبكات التطبيقية متعددة البث و سندرس منها:

4-2-1. الحمل الإضافي لإعادة التنظيم Rearrangement Overhead

ويقيس استقرار شجرة التغطية، ويحسب بالعدد الكلي للعقد التي تعيد انضمامها خلال كامل الجلسة، هذه العقد هي العقد التي أُجبرت على إعادة انضمامها إلى شجرة التغطية بعد حدوث مغادرة.

4-2-2. بارامترات الأداء: *Performance Parameters*

إن البارامترات الأساسية المستعملة لتقييم أداء وفعالية بروتوكولات ALM هي: القيمة الوسطية للتأخير من نهاية إلى نهاية Mean End-to-End Delay وتمدد الوصلة Link Stress، وإجهاد الوصلة Link Stretch.

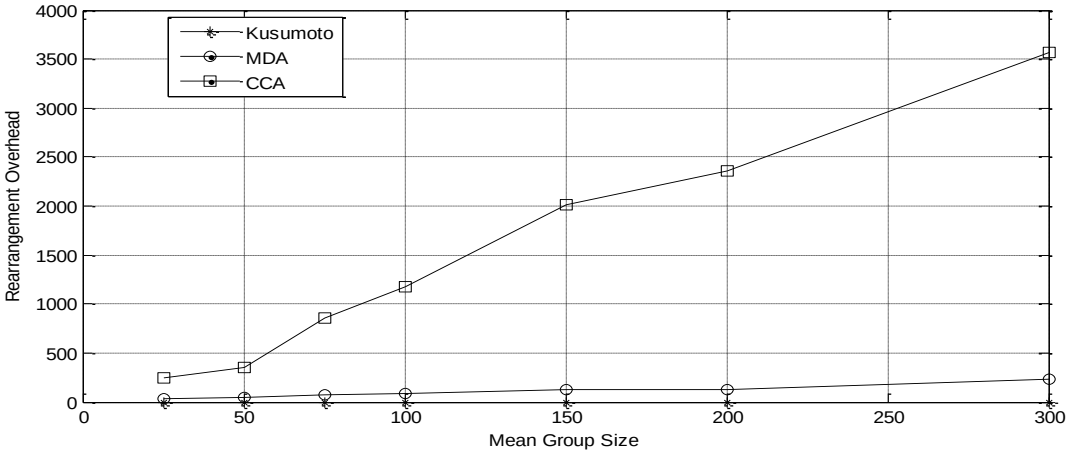
- ✓ **القيمة الوسطية للتأخير من نهاية إلى نهاية Mean End-to-End Delay**: وهو مجموع التكلفة (التأخير) لوصلات الشبكة انطلاقاً من المنبع باتجاه جميع العقد مقسوماً على عدد الوصلات.

- ✓ **تمدد الوصلة Link Stretch or Relative Delay Penalty (RDP)** : وهو الجزاء المدفوع من عقدة ما لاستقبال المعطيات باستخدام الشبكات التطبيقية متعددة البث عوضاً عن البث الأحادي المباشر.
- ✓ **إجهاد الوصلة Link Stress:** وهو عدد النسخ المتماثلة المكررة لرزمة بيانات مرسلة على وصلة فيزيائية.

4-3. نتائج المحاكاة

4-3-1. حمل إعادة الانضمام Rearrangement Overhead:

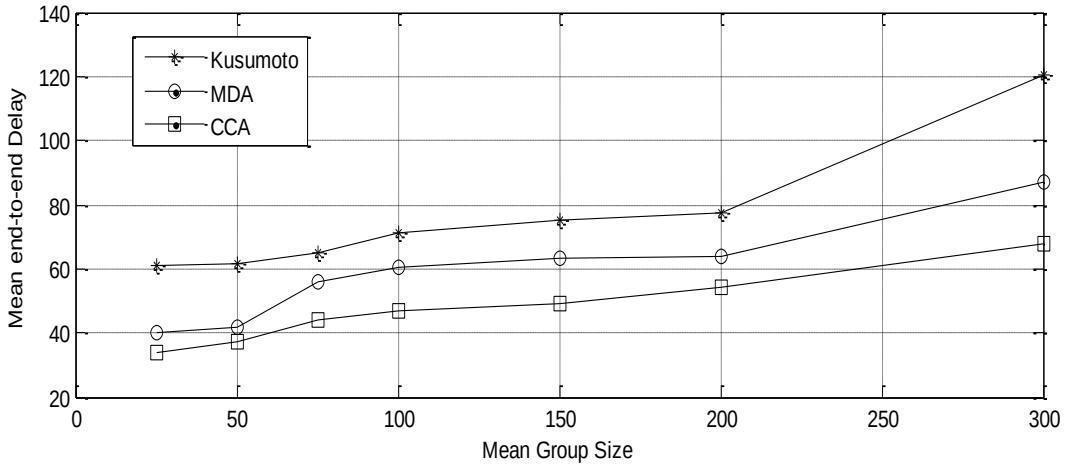
ويبين الشكل (15) المنحنيات البيانية الممثلة لعلاقة حمل إعادة الانضمام مع عدد العقد في شجرة التغطية وذلك من أجل الطرائق الثلاث. نلاحظ من الشكل أن الطريقة الاستباقية خفضت حمل إعادة الانضمام مقارنة مع الطريقة الكلاسيكية التفاعلية وذلك بسبب ترك واحد من درجة الخدمة الأعظمية لكل عقدة كطريق احتياطي، كما تعتبر طريقة MDA جيدة مقارنة بالطريقة التفاعلية. فمثلاً عند عدد عقد مقداره 200 عقدة، لا يوجد أي عقدة ستعيد انضمامها من البداية في Kusumoto لأن كل عقدة ستتصل مع والدها الاحتياطي عند تعطل الأب الفعلي، بينما يكون لدينا 129 عقدة مضطرة لإعادة الانضمام خلال فترة المحاكاة عند استخدام MDA، و2362 ستعيد الانضمام باستخدام الطريقة الكلاسيكية والسبب بأن هذا العدد أعلى من عدد عقد الجلسة هو أن العقدة الواحدة يمكن أن تتأثر أكثر من مرة خلال الجلسة بسبب تعطل آبائها الفعليين.



الشكل (15): علاقة حمل إعادة الانضمام مع عدد العقد في شجرة التغطية.

4-3-2. القيمة الوسطية للتأخير من نهاية إلى نهاية Mean end to end delay:

يبين الشكل (16) المنحنيات البيانية الممثلة لعلاقة القيمة الوسطية للتاخير من نهاية إلى نهاية مع عدد العقد في شجرة التغطية. نلاحظ أن الطريقة الاستباقية تسبب تأخيراً أعلى من الذي تسببه الطريقة الكلاسيكية ومن MDA وذلك بسبب ترك واحد من درجة الخدمة الأعظمية لكل عقدة كطريق احتياطي، لذا ستمتد الشجرة طولاً. فمثلاً من الشكل ومن أجل عدد عقد مقداره 200 عقدة نلاحظ أن طريقة kusumoto تسبب زيادة في القيمة الوسطية للتأخير من نهاية إلى نهاية قدرها 30% مقارنة مع الطريقة الكلاسيكية، و 17% مقارنة بـ MDA.



الشكل (16): علاقة القيمة الوسطية للتأخير من نهاية إلى نهاية مع عدد العقد في شجرة التغطية.

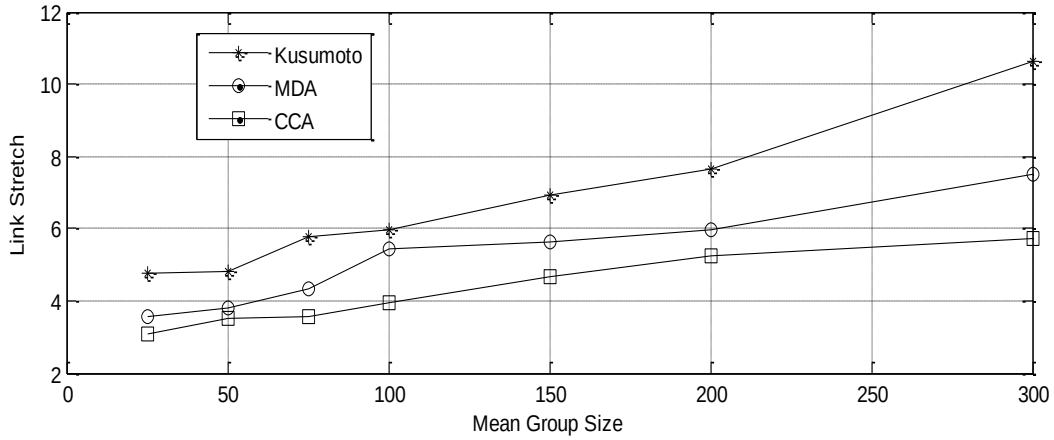
4-3-3. تمدد الوصلة Link Stretch:

يوضح الشكل (17) المنحنيات البيانية الممثلة لعلاقة تمدد الوصلة مع عدد العقد في شجرة التغطية. وهو عبارة عن مقدار التأخير في الحصول على المعلومات لعقدة ما باستخدام ALM مقارنة بالتأخير باستخدام النقل الأحادي، ويكون هذا البارامتر مقاساً لكل عقدة. الحالة المثلى هي أن تكون قيمة تمدد الوصلة مساويةً للواحد. وهو يعطى بالعلاقة:

$$\text{Link Stretch} = D_{ALM} \ / \ D_{\mathrm{u}} \qquad (1)\ [2]$$

حيث : D_{ALM}: التأخير باستخدام الـ ALM . D_{u}: التأخير أحادي البث.

نلاحظ من الشكل السابق أن الطريقة الاستباقية تسبب تمدد وصلة أعلى من الذي تسببه الطريقة الكلاسيكية وطريقة MDA وذلك بسبب ترك واحد من درجة الخدمة الأعظمية لكل عقدة كطريق احتياطي، فمثلاً من الشكل ومن أجل عدد العقد 200 نلاحظ أن طريقة kusumoto تسبب زيادة في تمدد الوصلة قدره 34% مقارنة مع الطريقة الكلاسيكية، و20% مقارنة بـ MDA، ويرتبط هذا البارامتر بالبارامتر السابق على اعتبار أنه يرتبط بالتأخير الزمني.



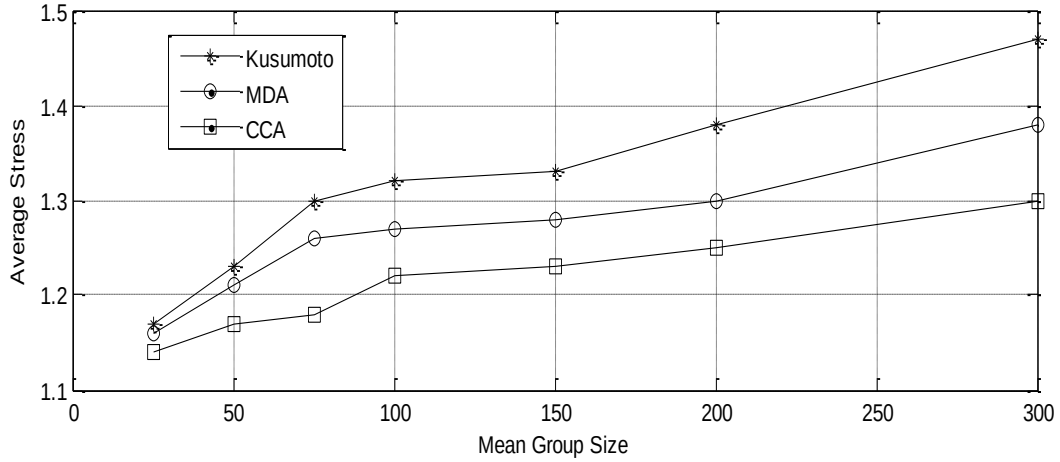
الشكل (17): علاقة تمدد الوصلة مع عدد العقد في شجرة التغطية.

4-3-4. الإجهاد الوسطي للوصلة Average Link Stress:

يتم قياس هذا البارامتر اعتماداً على الوصلة الفيزيائية، ويحدد توزع الضغط فيما إذا كان الحمل موزعاً بشكل عادل، فإذا لم يكن ذلك محققاً فسيتركز ازدحام الشبكة على طول وصلات فيزيائية معينة مما يسبب ضغطاً شديداً على هذه الوصلات، يمكن أن يصل إلى حد الإشباع و يؤدي إلى فقدان بعض البيانات، والحالة المثلى هي أن تكون قيمة إجهاد الوصلة مساوية للواحد. ولصعوبة الدراسة نثبت الشبكة بعد مرور 2/3 من زمن الجلسة ونحسب الإجهاد الوسطي للوصلة الذي يعطى بالعلاقة :

$$average\ stress = \frac{\sum_{i=0}^{i} stress\ value(i) * i}{\sum stress\ value} \qquad (2)\ [2]$$

ويبين الشكل (18) المنحنيات البيانية الممثلة لعلاقة الإجهاد الوسطي للوصلة مع عدد العقد في شجرة التغطية.



الشكل (18): علاقة الإجهاد الوسطي للوصلة مع عدد العقد في شجرة التغطية.

نلاحظ من الشكل أن الطريقة الاستباقية تسبب إجهاداً وسطياً للوصلة أعلى من الذي تسببه الطريقة الكلاسيكية وطريقة MDA، وذلك بسبب ترك واحد من درجة الخدمة الأعظمية لكل عقدة كطريق احتياطي، فمثلاً من الشكل ومن أجل عدد عقد مقداره 200 عقدة نلاحظ أن طريقة kusumoto تسبب زيادة في الإجهاد مقداره 9.5% مقارنة مع الطريقة الكلاسيكية، و5.8% مقارنة بـ MDA.

الاستنتاجات والتوصيات:

قمنا في هذا البحث بتعريف الشبكات التطبيقية متعددة البث، ومن ثم دراسة إحدى أهم عقبات هذا النوع من الشبكات والمتمثلة في الآثار الناتجة عن الطبيعة الديناميكية للعقد وكيفية مواجهة هذه المشكلة (وهو ما يسمى بسماحية الأعطال (Fault Tolerance) بهدف الوصول إلى بناء شجرة تغطية مستقرة والتي لها أهميتها الكبرى في تطبيقات الوسائط المتعددة وتطبيقات البث المباشر[26-24] إضافة إلى دراسة بعض البارامترات المحددة لأداء هذه الشبكات. وقد أثبتنا من خلال إجراء المحاكاة أن:

1. تعد الطرائق الاستباقية الأفضل لمقاومة الأعطال في هذا النمط من الشبكات، لكنها عموماً تبني أشجار تغطية ذات مستوى أداء منخفض.

2. تعد الطرائق التفاعلية الأفضل من ناحية حفظ أداء الشبكة لكنها تتأثر بشكل سلبي من حدوث الأعطال في الشجرة.

3. تعد طريقة MDA (طرق بناء أشجار أكثر ثباتاً منذ البداية) حالة وسطية بين الطريقتين السابقتين.

لذا ينصح باستخدام الطرائق الاستباقية في التطبيقات التي تتأثر بالأعطال وبضياع رزم البيانات كتطبيقات التعليم عن بعد والفيديو عند الطلب، وباستخدام الطرائق التفاعلية في التطبيقات التي تهتم بأداء الشجرة دون الأخذ بالحسبان ضياع بعض رزم البيانات كتطبيقات المعدل الحرج Rate Critical والتي تهتم ببارامترات الأداء كالتأخير الزمني، وباستخدام طريقة MDA في التطبيقات التي تهتم بأداء الشجرة ومقاومة الأعطال كتطبيقات الزمن الحقيقي وتطبيقات المهمة الحرجة Mission Critical.

المراجع

[1] R.Wittmann and M. Zitterbart. "*Multicast Communication Protocols and Applications*". ISBN 1-55860-645-9. Morgan Kaufmann Publishers, (2001).

[2] C. Diot, B.N. Levine, B. Lyles, H. Kassem, and D. Balensiefen. "*Deployment issues for the IP multicast service and architecture*". IEEE Network, 14:78-88, February (2000).

[3] Ayman El-Sayed. "*Application-Level Multicast Transmission Techniques Over The Internet*". PhD thesis, INRIA Rhne Alpes, March (2004).

[4] K. Almeroth and M. Ammar. "*Collecting and Modelling the Join/Leave behaviour of Multicast Group Members in the MBone*". In 5th International Symposium on High Performance Distributed Computing (HPDC'96), pages 209–216, Syracuse, NY, USA, August (1996).

[5] K. Almeroth and M. Ammar. "*Multicast group behaviour in the internet's multicast backbone (mbone)*". IEEE communications Magazine, 35:124-129, june (1997).

[6] S. Banerjee and B. Bhattacharjee. "*Analyse of the NICE Application Layer Multicast Protocol*". Technical Report UMIACS TR 2002-60 and CS-TR 4380, Department of Computer Science, University of Maryland, College Park, USA, June (2002).

[7] R.van Renesse, Y. Minsky, and M. Hayden,: *" A gossip-style failure detection service, "* In:Proceeding of Middleware'98. 55–70 The Lake District, England. (1998).

[8] Mengkun Yang and Zongming Fei, "*Cooperative Failure Detection in Overlay Multicast*," Journal of Parallel and Distributed Computing, vol. 67, Issue. 6, pp. 635-647, June (2007).

[9] H. Deshpande, M. Bawa, and H. Garcia-Molina,: *"Streaming Live Media over Peers,"* Technical Report 2002-21, Stanford University, Tech. Rep. 2002-21, Mar. (2002).

[10] W.-P. Yiu, K. -F. Wong, S. -H. Chan, W-C Wong, Q. Zhang, W-W. Zhu, and Y-Q. Zhang, "*Lateral Error Recovery for Media Streaming in Application-Level Multicast*," IEEE Transactions on Multimedia, 8(2): 219-232, April (2006).

[11] V. Padmannabhan, H. Wang, and P. Chou, "*Resilient Peer-to-Peer Streaming*," in Proceedings of the 11th IEEE International Conference on Network Protocols (ICNP'03), Atlanta, Georgia, USA, November (2003).

[12] M. Bawa, H. Deshpande, and H. Garcia-Molina, *"Transience of Peers and Streaming Media*," in Proceedings of HotNets'02, Princeton, New Jersey, USA, October 2002.

[13] Xing Jin, W.-P. Ken Yiu, and S.-H. Gary Chan , '' *Loss Recovery in Application-Layer Multicast*, '' *IEEE MultiMedia*, 15(1):18-27, (2008).

[14] M.Yang and Z. Fei,: "*A Proactive Approach to Reconstructing Overlay Multicast Trees*" in proceedings of INFOCOM 2004, March. (2004).

[15] S. Banerjee, S. Lee, B. Bhattacharjee, and A. Srinivasan,: " *Resilient multicast using overlays*, " in ACM Sigmetrics'03, San Diego, CA, USA, June (2003).

[16] Y. Okada, M. Oguro, J. Katto, and S. Okubo, *"A New Approach for the Construction of ALM Trees using Layered Video Coding*," in Proceedings of ACM Multimedia, Hilton, Singapore, November (2005).

[17] Xinchang Zhang, Meihong Yang, Guanggang Geng,Wanming Luo, and Xingfeng Li . "*A Two-Tiered Reliable Application Layer Multicast"* . Comput. Sci. Inf. Syst. 8(3): 909-929, (2011) .

[18] T. Kusumoto, Y. Kunichika, J. Katto, S. Okubo,: " *Proactive route maintenance and overhead reduction for application layer multicast*," in: Joint International Conference on Automatic and Autonomous Systems/International Conference on Networks and Services (ICAS/ICNS), Papeete, Tahiti, October (2005).

[19] Jin-Han Jeon, Seung-chul Son, Ji-Seung Nam,: " *Overlay multicast tree recovery scheme using a proactive approach*," Computer Communications 31: 3163–3168 , (2008).

[20] Yue, J., Wu, C.: "*A Trees-Mesh Based Application Layer Multicast Using Collaborative Sub-streams*". In Proceedings of the Second International Conference on Future Networks, 29-33. China (2010).

[21] M. Alkubeily, H. Bettahar, A. Bouabdallah; "*A New Application-Level Multicast Technique for Stable, Robust and Efficient Overlay Tree Construction*", In Computer Networks (ELSEVIER),55: 3332-3350, (2011).

[22] K. Xu, J. Liu, L. Fu, and C. Liu, "*On the Stability of Application-Layer Multicast Tree*," in Proceedings of The 21st International Symposium on Computer and Information Sciences(ISCIS'06, LNCS 4263), Istanbul, Turkey, November (2006), pp. 401-412.

[23] Krzysztof Stachowiak, Tytus Pawlak and Maceij Piechowiak, "*Performance Evaluation of Multicast Overlay Routing Protocols*", Image Processing & Communication, 17(1-2): 19-32, January (2013).