تقييم أداء السياسة المُحسَّنة لاستبدال ذاكرة التخزين المؤقت بالاعتماد على شعبية المحتوى (ICCP) عند استراتيجيات إعادة التوجيه المختلفة في شبكات البيانات المسمّاة

د. م. يمان غازي[1]

م. عاصم الحمصيه[2]

الملخص

في الآونة الأخيرة، بَرزت شبكات البيانات المسمّاة (Named Data Networking) كمِعمارية إنترنت مستقبليّة تعمل على تسليم البيانات بالاعتماد على أسماء البيانات وليس على عناوينها كما في معمارية IP. تَضم شبكات البيانات المسمّاة العديد من الميّزات مثل: حماية البيانات المُدمَجة ضمنها، مستوى إعادة التوجيه المُحتفظ بالحالة، التخزين المؤقت داخل الشبكة، إعادة التوجيه متعدّد المسارات، والاسترداد السريع للبيانات. يركّز هذا البحث على دراسة وتقييم أداء سياسة ICCP عند تفعيلها مع استراتيجيات إعادة التوجيه المُدمَجة في محاكي ndnSIM، وهي: استراتيجية Best Route، استراتيجية SAF، استراتيجية Multicast، واستراتيجية Access. لقد أوضحت نتائج المُحاكاة وتقييم الأداء أنّ سياسة ICCP تقدم أفضل أداء لها عند تفعيلها مع استراتيجية إعادة التوجيه Access وذلك بدلالة المقاييس: معدل تلبية رزم الاهتمام، معدل إصابة الـ cache، حركة المرور على الشبكة، التأخير، عدد القفزات إلى المنبع، وعدد عمليات إعادة الإرسال.

الكلمات المفتاحية: شبكات البيانات المُسمَّاة، سياسة ICCP، التخزين المؤقت داخل الشبكة، استراتيجيات إعادة التوجيه.

[1] مدرّس، قسم هندسة الشبكات والنظم الحاسوبية، كلية الهندسة المعلوماتية، جامعة البعث
[2] طالب دراسات عليا (ماجستير)، قسم هندسة الشبكات والنظم الحاسوبية، كلية الهندسة المعلوماتية، جامعة البعث

Performance Evaluation of the Improved Cache replacement policy based-on Content Popularity (ICCP) at Different Forwarding Strategies in Named Data Networking

[3]Dr. Eng. Yaman Ghazi
[4]Eng. Asim Al Himsya

ABSTRACT

Named Data Networking (NDN) has appeared recently as a future Internet architecture where data delivery depends on the names of the data, not their addresses as in the IP architecture. NDN has many features such as built-in data security, stateful forwarding plane, in-network caching, multipath forwarding, and fast data retrieval. This research focuses on studying and evaluating the performance of the ICCP policy when implemented with the forwarding strategies embedded into ndnSIM simulator, which are Best Route strategy, SAF strategy, Multicast strategy, and Access strategy. Simulation and performance evaluation results show that the ICCP policy often performs best when implemented with Access forwarding strategy in terms of interest satisfaction rate, cache hit rate, network traffic, delay, number of upstream hops, and interest retransmissions.

Keywords: Named Data Networking, ICCP policy, in-network caching, forwarding strategies.

[3] Lecturer, Department of Network Engineering and Computer Systems, Informatics Engineering Faculty, Al Baath University.
[4] Postgraduate Student (M.A), Department of Network Engineering and Computer Systems, Informatics Engineering Faculty, Al Baath University.

1- مقدمة

تعتبر شبكات البيانات المسمّاة مفهوماً جديداً لبنية الإنترنت المستقبلية التي تتمحور حول البيانات المسمّاة القابلة لإعادة التوجيه. ويمكن أن نُعرّفها بأنها إحدى معماريات شبكات المعلومات المركزية (Information Centric Networking) المُصمّمة لتكون معماريّة جديدة متطورة في نظام الاتصالات. لقد تم تصميم NDN لتعتمد مبدأ تسمية البيانات بدلاً من عنونة البيانات، وبالتالي يعتمد تسليم البيانات على أسماء البيانات وليس على عناوينها. يجري في NDN تحويل نموذج اتصالات الشبكة من التركيز على المُضيف إلى التركيز على البيانات. بمعنى أنها تغير اتجاه خدمة الشبكة من نهج تسليم الرزمة لعنوان هدف محدد إلى نهج جلب البيانات المحددة بواسطة اسم محدد [10]. يعد اختيار أفضل المسارات الممكنة لإعادة توجيه رزم الاهتمام عاملاً صعباً في NDN، نظراً لأنه من الممكن استرجاع رزم البيانات المخزّنة داخل الشبكة من عدة مصادر [4]. يتناول هذا البحث مدى تأثير استراتيجية إعادة التوجيه المختارة على أداء الشبكة. ومن جهة أخرى يفحص البحث مستوى توافق سياسة استبدال ذاكرة التخزين المؤقت ICCP مع كل من استراتيجيات إعادة التوجيه المدمجة في محاكي ndnSIM.

2- الهدف من البحث

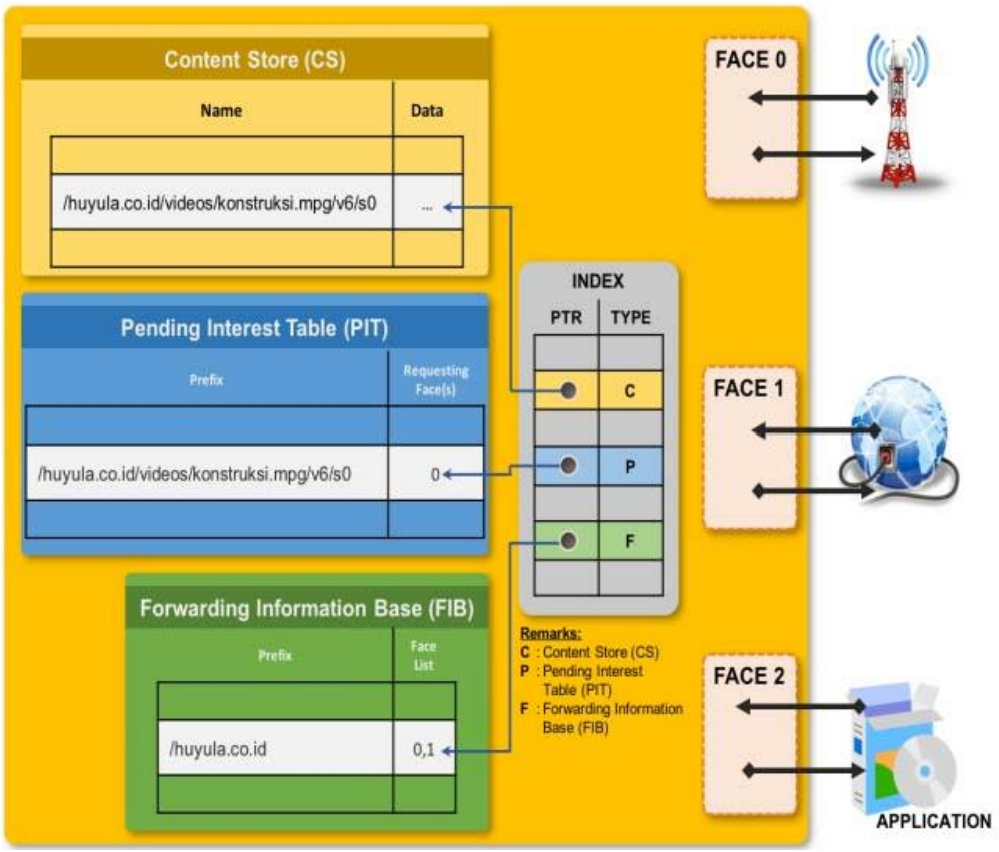
يركّز هذا البحث بشكل عام على دراسة مِعماريّة NDN وطريقة عملها وآلية تقييم الأداء فيها باستخدام محاكي ndnSIM. بالإضافة إلى ذلك، يسعى البحث إلى دراسة منهجية إعادة توجيه رزم الاهتمام واستراتيجيات إعادة التوجيه المختلفة في NDN بقصد تحديد خصائص كل استراتيجية عبر دراسة مقاييس الأداء المختلفة. على النحو الآخر، يرتكز هذا البحث بشكل خاص على اختبار مستوى توافق سياسة استبدال ذاكرة التخزين المؤقت ICCP مع مجموعة من استراتيجيات إعادة التوجيه المختلفة وهي: استراتيجية Best Route، استراتيجية SAF، استراتيجية Multicast، واستراتيجية Access، ذلك عند

إجراء سيناريوهات محاكاة متعدّدة. في الختام، يقدّم هذا العمل توصيةً بشأن استراتيجية إعادة التوجيه ذات الأداء الأفضل عند اختيار سياسة ICCP على وجه التحديد كسياسة لاستبدال محتوى ذاكرة التخزين المؤقت.

3- مِعماريّة شبكات البيانات المُسمَّاة

تضُم معماريّة NDN ثلاثة عناصر أساسية هي: المُنتج (producer)، المُستهلك (consumer)، وجهاز توجيه NDN. كذلك يوجد نوعان من الرزم تستخدمهم NDN في عمليات الاتصال هما رزمة الاهتمام (interest packet) ورزمة البيانات (data packet). في بداية الأمر، يرسل المستهلك إلى المنتج رزمة اهتمام تحتوي على اسم البيانات المطلوبة التي يرغبها من مالك البيانات. ويستخدم جهاز التوجيه اسم البيانات الفريد هذا لإعادة توجيه رزمة الاهتمام إلى المُنتِج. عندما تصل رزمة الاهتمام إلى العقدة التي تحتوي على البيانات المطلوبة، سَتُعيد العقدة رزمة بيانات تحتوي على الاسم والمحتوى. في الواقع [7]، يوجد داخل جهاز توجيه NDN ثلاثة مُكوّنات فاعلة في تنفيذ وظائف إعادة توجيه رزم الاهتمام/البيانات مشار إليها في الشكل (1) وهي:

- **مخزن المحتوى (CS)**: هو مساحة تخزينية في جهاز التوجيه يحفظ فيها رزم البيانات التي يعيد توجيهها.
- **جدول طلبات الاهتمام المعلقة (PIT)**: يُسجّل معلومات خاصة بإعادة توجيه رزم الاهتمام مثل اسم المحتوى والواجهات (faces) التي جاءت منها كل رزمة اهتمام. يحتفظ PIT برزم الاهتمام حتى يتم تلبيتها أو تنتهي صلاحيتها.
- **قاعدة معلومات إعادة التوجيه (FIB)**: تُخزّن معلومات عن الواجهة التي أتت منها كل رزمة اهتمام ثم تعيد توجيهها إلى القفزة التالية. تحتفظ FIB ببادئات الأسماء (Name Prefixes) مع الواجهات المقابلة للمُنتِج الذي قد يكون لديه المحتوى المطلوب.



الشكل (1): مكونات جهاز توجيه NDN. [2]

4- التوجيه وإعادة التوجيه في NDN

يقوم بروتوكول توجيه NDN بنشر تحديثات التوجيه ويحسب المسارات لبادئات الأسماء. نظراً لأن أسماء NDN منظمة بشكل هرمي، فإن أفضل حساب لمسار NDN يمكن أن يَستخدم أياً من خوارزميات التوجيه التي تعمل مع IP، على سبيل المثال برتوكول توجيه حالة الارتباط (Link-State Routing Protocol) أو بروتوكول توجيه شعاع المسافة (Distance-Vector Routing Protocol). ومع ذلك، يجب أن يكون بروتوكول

توجيه NDN قادراً على تقديم عدَة قفزات تالية لإعادة توجيه الرزم سعياً لدعم إعادة التوجيه متعدد المسارات. ويمكن أن تكون المسارات المتعددة إمّا باتجاه مُنتج بيانات واحد أو منتجين متعددين لنفس البيانات [8].

لقد تم بحسب [9] تصميم NDN مع فصل مستويات التوجيه وإعادة التوجيه، هذا الفصل يسمح بتطوّرهم بشكل منفصل. وكَدور مُكمّل لإعادة التوجيه، تستخدم NDN التوجيه لإدارة التغييرات طويلة المدى وملء FIB. وبالنظر إلى أن مستوى التوجيه يحسب ويقرر مدى توفر المسارات، فإن مستوى إعادة التوجيه يتخذ قرارات لكل عقدة حول تفضيل واستخدام هذه المسارات بناءً على أدائها وحالتها. وهذا يعني أن مستوى التوجيه يبحث عن كلفة التوجيه نحو المحتويات المطلوبة ويحسبها ويقدّمها إلى مستوى إعادة التوجيه.

4-1 مستوى إعادة التوجيه المحتفظ بالحالة (Stateful Forwarding Plane)

يوجد في هذه النوع ثلاث ملاحظات موجزة لابدّ من تسليط الضوء عليها وهي بحسب [10]:

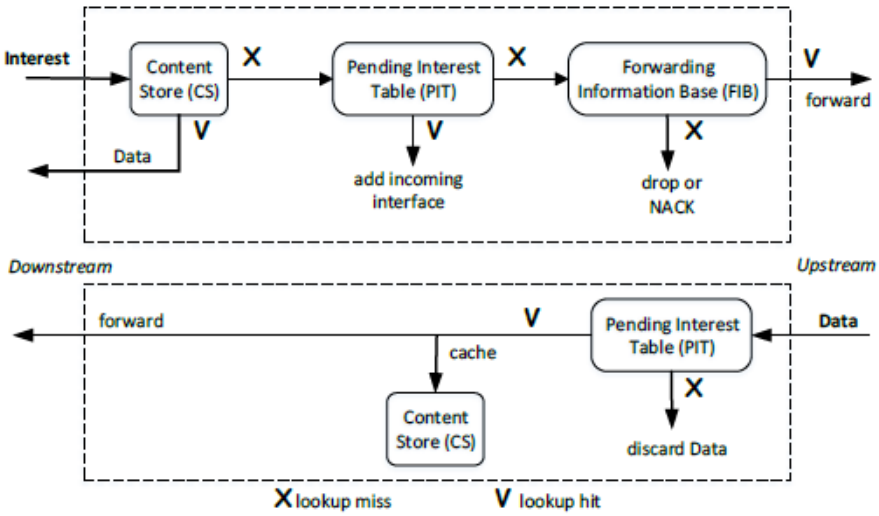
- تحتوي NDN على مستوى إعادة توجيه يحتفظ بالحالة أثناء تسليم البيانات والحالة هنا لكل رزمة، ولكل قفزة.
- يمكن لمستوى إعادة التوجيه الذي يحتفظ بالحالة والذي يتناسب حجمه مع تأخيرات سعة الوصلة أن يضع عبئاً كبيراً على ذاكرة جهاز التوجيه.
- يمكن لجهاز توجيه NDN تخزين رزم الاهتمام في PIT ورزم البيانات في CS، وهي ميزة فريدة تجعل NDN قادرة على الاتصال حتى أثناء الاتصال المتقطّع في بيئة غير جيدة.

4-2 آلية إعادة التوجيه في NDN

يبدأ سير عمل NDN عندما يطلب المستهلك رزمة اهتمام عبر الشبكة. عندما تصل رزمة الاهتمام إلى أول جهاز توجيه في الشبكة كما في الشكل (2)، سيقوم جهاز التوجيه بالتحقّق من مخزن المحتوى الخاص به والبحث داخله عن المحتوى المطلوب. فإذا كان المحتوى موجود، فسيتم إرجاع رزمة البيانات إلى المستهلك من خلال المسار العكسي لرزمة الاهتمام. أما إذا لم يكن المحتوى موجود، فسيمرّر جهاز التوجيه هذه المعلومات إلى جهاز التوجيه التالي وذلك من خلال البحث في PIT عن المعلومات التالية لجهاز التوجيه الهدف. في هذه الحالة، هناك ثلاثة خيارات مُحتمَلة تساعد PIT على تحديد الإجراء التالي كما يلي:

- سيقوم جهاز التوجيه بوضع الواجهة التي أتت منها رزمة الاهتمام في PIT وحذف رزمة الاهتمام إذا كان للإدخال الموجود في PIT اسم محتوى متجانس ولكن واجهة مختلفة.
- سيقوم جهاز التوجيه بحذف رزمة الاهتمام مباشرةً إذا كان في الإدخال تطابق بين اسم محتوى والواجهات.
- من ناحية أخرى، سوف يرجع جهاز التوجيه إلى FIB الذي يقوم بتخزين العديد من معلومات المسار مع البادئات (prefixes) المقابلة.

بمجرد حصول جهاز التوجيه على البيانات من المُنتج، سيستخدم جهاز التوجيه المعلومات الموجودة في PIT لتمرير البيانات إلى المستهلك وتخزينها مؤقتاً في مخزن المحتوى [11].



الشكل (2): عملية إعادة توجيه رزم الاهتمام/البيانات في NDN [12].

4-3 استراتيجيات إعادة التوجيه في NDN

في حقيقة الأمر، يمكن إعادة توجيه رزم الاهتمام عن طريق اختيار مجموعة فرعية من الواجهات (faces). لذلك، هناك حاجة إلى استراتيجيات إعادة توجيه فعّالة لتحديد الواجهة الصادرة ليس فقط من خلال المطابقة الدقيقة عند البحث بسجلات FIB، ولكن بالنظر إلى سلوك الشبكة ومعلومات العقد المجاورة أيضاً. يوجد العديد من استراتيجيات إعادة التوجيه البارزة في NDN والتي تمت الإشارة لها في كل من [1]،[2]،[3]،[11]. يركّز هذا العمل تحديداً على أربعة استراتيجيات لإعادة التوجيه موجودة ضمن بيئة محاكي ndnSIM يمكن استعراضها كما يلي:

استراتيجية أفضل مسار (Best Route): هي استراتيجية إعادة توجيه تم تضمينها في محاكي ndnSIM منذ الإصدار الأول ولا تزال مدعومة حتى الإصدار الأحدث الحالي2.8، علماً أنها مزوّدة بمجموعة من الوظائف لحساب عدد القفزات وتقديم النتائج

بأقل كلفة أثناء إعادة توجيه رزم الاهتمام [1]. وبقصد إدراك أفضل مسار، يتم إرسال رزم الاهتمام إلى الواجهات المُتاحة بحسب تصنيفات الواجهة (face rank). وعلى هذا، سيتم إرسال رزمة الاهتمام إلى الواجهة الأعلى تصنيفاً إذا كانت متاحة. فإذا لم تكن متاحة، فسيتم إرسال الرزمة إلى الواجهة الأقل من السابقة في التصنيف. أخيراً، إذا لم تكن هناك واجهات متاحة فسيتم إسقاط رزمة الاهتمام. عموماً، تفترض استراتيجية Best Route أنّ عدد القفزات الأقل يتمتّع بكلفة أقل [3].

استراتيجية إعادة التوجيه العشوائي التكيّفي (SAF): تم تصميمها خِصّيصاً لتنفيذ إعادة التوجيه التكيّفي لكل المحتوى أو لكل بادئة. وكذلك لتوفير إعادة توجيه فعّالة حتى عندما تكون معلومات التوجيه غير كاملة. كما تكمن ميّزتها في التعامل مع التغييرات غير المتوقعة في هيكل الشبكة (على سبيل المثال: فشل الوصلة)، واكتشاف المسارات غير المعروفة للنسخ المتماثلة المخزنة مؤقتاً. تتمتّع استراتيجية SAF بإنتاجية متزايدة وتقدّم استرداداً سريعاً للبيانات لأنها تختار وصلة بيانات إعادة التوجيه المُحتملة بكفاءة عندما يكون هناك فشل في الوصلة الحالية. لقد تم تصميم SAF لتأخذ في الاعتبار سياق الشبكات ومحتواها لتحسين سلوك إعادة التوجيه الخاص بها.[2] ،[3]

استراتيجية Multicast: هي استراتيجية يتم فيها إرسال رزم الاهتمام إلى جميع الواجهات الموجودة في FIB الخاص بكل عقد القفزة التالية. ترسل استراتيجية Multicast رزم الاهتمام إلى جميع المسارات عن طريق تنفيذ آلية تعدد المسارات (multipath mechanism) بشكل مستمر. ولكن عند حدوث أي مشكلة في الشبكة فإن Multicast تتجاهلها وتستمر بإرسال الرزم إلى جميع العقد المجاورة. لذلك تسبب هذه الحالة بأن تقوم Multicast بإسقاط العديد من رزم الاهتمام التي تم إنشاؤها من العقد غير المستخدمة. [1]

استراتيجية Access: تقوم هذا الاستراتيجية بإنشاء آلية تعدد المسارات لتسليم رزم الاهتمام فقط لأول مرة. لذلك إذا كان المسار الذي تم اختياره بواسطة هذه الآلية لا يواجه أي مشكلة، فإن نقل البيانات يحتاج فقط إلى المرور عبر هذا المسار فقط. بعد ذلك، يتم إرسال رزم البيانات عبر أفضل مسار تملكه NDN. حيث سيتم استخدام أفضل مسار تم تحديده لإرسال الدفعة التالية من رزم الاهتمام.[1]

5- السياسة المُحسَّنة لاستبدال الـ Cache بالاعتماد على شعبية المحتوى (ICCP)

هي سياسة تم اقتراحها وتحقيقها وتقييم أدائها في عمل سابق بغرض تحسين مفهوم التخزين المؤقت داخل الشبكة في NDN [13]. يعتبر التخزين المؤقت ميزة أساسية من ميزات NDN حيث يقوم جهاز توجيه NDN بتخزين المحتويات مؤقتاً داخل مخزن المحتوى من أجل تقديمها إلى عقد NDN التي تطلب المحتوى أثناء عملية إرسال رزم الاهتمام. يتمثّل قرار استبدال الـ Cache في تحديد كيفية اختيار الرزم أو المحتويات الموجودة داخل مخزن المحتوى والتي يجب استبدالها عندما يصل جهاز التوجيه إلى قمّة سعته.

تعتمد سياسة ICCP في اتّخاذ قرار الاستبدال على مُعاملين هامّين وهما: معامل الازدحام (Congestion) ومُعامل جدول شعبية المحتويات المؤرشفة (Archived Content Popularity Table). وبالاستناد إلى هذين المعيارين عند اتخاذ قرار الاستبدال سَنحصل على مُعادلة جديدة لحساب شعبية المحتوى. هذه المعادلة الجديدة هي عبارة عن معادلة مُشتقّة من معادلة حساب شعبية المحتوى في سياسة CCP. عندها ستقوم سياسة الاستبدال المُقترَحة باستبدال المحتوى ذو الشعبية الأقل [13].

5-1 كشف الازدحام

عندما يستلم جهاز توجيه NDN رزم اهتمام تطلب محتوى غير موجود داخل CS، عندها يقوم جهاز التوجيه بإضافة هذه الرزم إلى PIT. فإذا كان عدد رزم الاهتمام

الداخلة إلى جهاز التوجيه (عقدة NDN) كبيراً ولا يمكن تلبيته من مخزن المحتوى، عندها سيمتلئ PIT ولن يتمكن من إضافة إدخالات جديدة. هذا الأمر يسبب ازدحام عند العقدة التي امتلئ فيها PIT والتي ستقوم بدورها بجعل قيمة الحقل CongestionMarkTag تساوي واحد. في واقع الأمر، يوجد في ترويسة رزمة البيانات التي ترسلها عقدة NDN حقل يسمى CongestionMarkTag. من خلال قيمة هذا الحقل تقوم العقدة بإعلام العُقد الأخرى التي تطلب منها رزم البيانات عن وجود ازدحام يسببه هذا المحتوى المطلوب. فإذا كانت قيمة هذا الحقل مساوية واحد فهذا يشير إلى حدوث ازدحام وعدم قدرة العقدة على تلبية الطلب من مخزن المحتوى. وإذا كانت قيمة هذه الحقل مساوية صفر فهذا يشير إلى عدم وجود ازدحام أي يمكن تلبية الطلب من مخزن المحتوى مباشرةً [15].

5-2 جدول شعبية المحتويات المؤرشفة

أما بالنسبة لجدول شعبية المحتويات المؤرشفة فهو عبارة عن جدول سنحتفظ فيه بشعبية المحتويات التي تم إخراجها من مخزن المحتوى عند استبدالها بمحتوى وصل مؤخراً. بحيث يحتوي هذا الجدول فقط على معلومات عن المحتوى الذي خرج من مخزن المحتوى.

5-3 آلية عمل سياسة ICCP

عندما تستلم عقدة NDN محتوى جديد تقوم بالاستعلام عنه ما إذا كان موجوداً في مخزن المحتوى أم لا. فإذا كان موجوداً في مخزن المحتوى يتم زيادة قيمة إصابة الـ Cache بمقدار واحد. أما إذا لم يكن موجوداً في مخزن المحتوى، يتم بدايةً معرفة ما إذا كان اسم المحتوى موجود في قائمة الازدحام أم لا.

نعرّف قائمة الازدحام على أنها قائمة يتم فيها تخزن اسم كل محتوى مع قيمة الازدحام الخاصة به بحيث كلما كانت getCongestionMark()>0 يتم زيادة قيمة الازدحام

(congestion) بمقدار واحد. إذا كان اسم المحتوى غير موجود في قائمة الازدحام عندها يتم إضافته مع قيمة ازدحام بدائية تساوي الصفر، وكلما كانت علامة الازدحام أكبر من الصفر نزيد قيمة الازدحام بمقدار واحد.

بعدها نعرف قيمة Archived_P=0 وقيمة Archived_H=0 على أنهما شعبية المحتوى المؤرشفة المعتمدة على الازدحام وقيمة إصابة الـ Cache المؤرشفة على التوالي.

بعد ذلك يتم التحقق ما إذا كان هذا المحتوى موجود في جدول المحتويات المؤرشفة أم لا. فإذا ما كان موجود يتم أخذ نسخة من معلومات هذا المحتوى (Archived_P, Archived_H) لاستخدامها في حساب شعبية المحتوى المعتمدة على الازدحام الجديدة بدلاً من القيم الابتدائية التي تساوي الصفر. أما إذا كان هذا المحتوى غير موجود في جدول المحتويات المؤرشفة عندها سنقوم بما يلي:

- حساب شعبية المحتوى المعتمدة على الازدحام Con_P حيث يتم تعريف شعبية المحتوى المعتمدة على الازدحام وفق المعادلة المُقترحة كما يلي:

$$Con_P[i+1] = \frac{(N[i] * \alpha + P[i]) * 0.5}{(\alpha + 1)} + (0.5 * congestion)$$

تشير $P[i]$ إلى شعبية المحتوى المخزّن مؤقتاً، أما $N[i]$ فتشير إلى عدد مرات إصابة الـ Cache في دورة العدّ الحالية. α >1 هو معامل الوزن (Weight coefficient) لشعبية المحتوى. يشير معامل الازدحام $congestion$ الى عدد المرات التي كان فيها getCongestionMark() أكبر من الصفر لرزمة البيانات الحالية. وعلى اعتبار أن العقدة تستلم المحتوى في حالتين: الأولى إذا قامت بطلبه والثانية إذا قامت عقدة مرتبطة بها بطلبه، فإنه تم أخذ حالة واحدة من خلال ضرب المعاملات بالقيمة 0.5

- جعل قيمة إصابة الـ Cache تساوي واحد.
- تخزين هذا المحتوى في جدول شعبية المحتوى مع معلومات عنه.

الهدف من حساب شعبية المحتوى المعتمدة على الازدحام هو تخزين رزم البيانات التي يوجد في ترويستها إشارة لوجود ازدحام وذلك عن طريق زيادة شعبيتها ليتم الحفاظ عليها في مخزن المحتوى وعدم استبداله. كلما زاد معيار الازدحام لمحتوى ما، ستقوم سياسة ICCP بزيادة شعبيّته لكي يبقى داخل مخزن المحتوى ولا يتم استبداله عندما تمتلئ ذاكرة التخزين المؤقت.

إذا انتهت دورة العد T أو ما يُسمى دورة تحديث الـ Cache ننتقل إلى الخطوة التالية أما إذا لم تنته دورة العدّ نكرر ما سبق لمحتوى جديد. عند انتهاء دورة العد يتم تحديث قيمة شعبيّة المحتوى المعتمدة على الازدحام لجميع المحتويات الموجودة في جدول شعبية المحتوى ومن ثم يتم ترتيبها وفق قيمة الشعبية. في النهاية تقوم سياسة ICCP بالتحقق ما إذا كان مخزن المحتوى ممتلئ أم لا. فإذا كان مخزن المحتوى غير ممتلئ ولم يتجاوز سعته، عندها يتم تخزين هذا المحتوى مباشرة في مخزن المحتوى. أما إذا كان مخزن المحتوى ممتلئ عندها يتم إخراج المحتوى الأقل شعبية من مخزن المحتوى ومن جدول شعبية المحتوى وتخزين المحتوى الذي وصل مؤخراً بدلاً عنه ومن ثم أرشفة المحتوى الذي تم إخراجه في جدول شعبية المحتويات المؤرشفة.

6- دراسات مرجعيّة

قام (Dodi وآخرون) في [1] بمقارنة عدّة استراتيجيات إعادة توجيه في NDN عند وجود هجوم سرقة البادئة في الشبكة. وهو هجوم ضار على الشبكة، يحدث عندما يستخدم جهاز توجيه (مهاجم) بادئة لجهاز توجيه آخر ولا تنتمي معلومات هذه البادئة إلى نظام التوجيه العام. إذ يتسبب في انتقال حركة مرور بيانات الضحية إلى المهاجم. تم تنفيذ عمليات المحاكاة باستخدام ثلاث استراتيجيات لإعادة التوجيه وهي: استراتيجية

أفضل مسار (Best Route)، استراتيجية البث المتعدد (Multicast)، واستراتيجية الوصول (Access). حيث أنه وفقاً لاستراتيجيات إعادة التوجيه، هناك فكرة لإرسال رزم الاهتمام بأسرع وقت ممكن باستخدام آلية تعدد المسارات (multipath mechanism) والتي تستخدمها كل من استراتيجية Access واستراتيجية Multicast أثناء إعادة توجيه رزم الاهتمام. ومع ذلك، فإن هذه الآلية ليست دائماً متناسبة مع قدرة كلتا الاستراتيجيتين على تقليل الرزم المُهملة (drop packets). أما بالنسبة للمقاييس المستخدمة في تقييم الأداء فهي: معدل تسليم الرزم وعدد الرزم المهملة. لقد تم إجراء سيناريوهات المحاكاة على طوبولوجيا شبكة تحتوي 6 عقد واستنتج الباحثون أنّ استراتيجية Access هي ذات الأداء الأفضل من حيث معدل تسليم الرزم يليها Best Route و Multicast بمعدل تسليم رزم مُتماثل تقريباً. كذلك بالنظر إلى الأداء من خلال عدد الرزم المهملة، فإن استراتيجية Best Route هي الأقل من حيث عدد كل الرزم المهملة.

أجرى (Marion وآخرون) في [2] تقييماً للعديد من استراتيجيات إعادة التوجيه البارزة في NDN أثناء دراسة جودة الخدمة (QoS) بناءً على ثلاثة أنواع مختلفة من تطبيقات المستخدم وهي: تطبيق نقل الصوت عبر بروتوكول الإنترنت (VoIP)، تدفق الفيديو، وبرتوكول HTTP. أمّا من ناحية استراتيجيات إعادة التوجيه التي تم تقييم أدائها فهي: استراتيجية البث (Broadcast)، استراتيجية NCC، استراتيجية Best Route، استراتيجية إعادة توجيه رزم الاهتمام نحو مسارات متعددة عند الطلب (OMPIF)، واستراتيجية إعادة التوجيه العشوائي التكيفي (SAF). وفيما يتعلق بالمقاييس المستخدمة لتقييم الأداء فهي: متوسط نتيجة الجودة (MOS)، معدّل التحميل (Download Rate)، إجمالي حركة المرور على الشبكة (Network Traffic)، ومتوسط كلفة النقل (Cost). لقد تم إجراء عمليات المحاكاة على طوبولوجيا مكونة من 11 عقدة ومقسّمة إلى ثلاث مجموعات من النظام المستقل (AS) واستنتج الباحثون أنّ استراتيجية SAF

تقدّم أفضل أداء، بينما استراتيجية Broadcast هي الأسوأ في هذا البحث. كما لاحظ الباحثون أنّ أداء استراتيجية NCC مشابه تقريباً لأداء كل من استراتيجيتي إعادة التوجيه Broadcast و OMPIF وأنّ أداء استراتيجية Best Route أفضل منهم بقليل.

اهتم (Raja وآخرون) في [3] بدراسة وتقييم أداء استراتيجية إعادة التوجيه العشوائي التكيفي (SAF) واستراتيجية أفضل مسار (Best Route) ومقارنة النتائج مع بعضها البعض. لقد تم دراسة تأثير وجود عدد متزايد تدريجياً من منتجي المحتوى مقابل عدد ثابت من منتجي المحتوى. تتمثل المقاييس التي تم تضمينها لتقييم الأداء بما يلي: معدل تلبية رزم الاهتمام (ISR)، معدل إصابة ذاكرة التخزين المؤقت (CHR)، عدد القفزات، التأخير، وعدد عمليات إعادة الإرسال. لقد تم إجراء تجارب المحاكاة على طوبولوجيا مكوّنة من عدد متغير من العقد بحيث يكون عدد العقد على الشكل التالي: 20 أو 40 أو 60 أو 80 أو 100 عقدة، ومقسّمة إلى خمس مجموعات من النظام المستقل (AS). بالتوازي مع ذلك، تم تنفيذ سيناريو محاكاة أول يحتوي على عدد متزايد من المستهلكين مقابل عدد ثابت من منتجي المحتوى. كما وتم تنفيذ سيناريو محاكاة ثاني يحتوي على عدد متزايد من المستهلكين مقابل عدد متزايد من منتجي المحتوى. كذلك تم استخدام سياسة LRU كسياسة استبدال ذاكرة التخزين المؤقت. أظهرت نتائج المحاكاة باستخدام محاكي ndnSIM أنّ استراتيجية SAF تتفوق على استراتيجية Best Route من حيث جميع المقاييس المستخدمة باستثناء مقياس عدد القفزات. من ناحية أخرى، استنتج الباحثون أن استراتيجية SAF تقوم بتقييم أداء الوصلة (link) وهذا ما جعلها أفضل. أمّا استراتيجية Best Route فإنها مصمّمة للبحث عن أقصر طريق دون تقييم أداء الوصلة.

توجّه (Muhammed وآخرون) في [4] إلى تحليل وتقييم أداء استراتيجيتين لإعادة التوجيه في NDN وهما: استراتيجية أفضل مسار (Best Route) واستراتيجية البث

(Broadcast) أثناء استخدام تابع الكثافة الاحتمالية (PDF) وتابع التوزيع التراكمي (CDF) لتحسين توصيل المحتوى الصوتي في تطبيق NDN. لقد تم اختيار مقياس التأخير كمقياس لتقييم الأداء، وجرت عمليات المحاكاة على طوبولوجيا مكوّنة من 30 عقدة (25 مستهلك و 5 منتجين) مع مراعاة تغيير سياسة استبدال ذاكرة التخزين المؤقت بين FIFO وLRU و LFU وتغيير فترات المحاكاة كما يلي: 10 و 20 و30 و 40 ثانية. لقد كشفت نتائج المحاكاة وتقييم الأداء بمحاكي ndnSIM أن استراتيجية Best Route لها تأخير أعلى وهذا ما يجعل استراتيجية Broadcast أفضل لتطبيقات نقل الصوت بسبب الحد الأدنى الواضح من التأخير الذي تقدّمه استراتيجية Broadcast. لاحظ الباحثون أيضاً أنّ عمليات المحاكاة اللاحقة تتطلب فترات زمنية أطول للحصول على تأخير أفضل.

ركّز (Bambang وآخرون) جهودهم في [5] على دراسة وتقييم أداء استراتيجية إعادة التوجيه لأقرب نسخة المثالية (NRR) مع زمرة واسعة من استراتيجيات إعادة التوجيه الموجودة في NDN، ذلك بالاعتماد على مجموعة من تطبيقات المستخدم وهي: الصوت، الفيديو، وبروتوكول HTTP. إن الاستراتيجيات التي تم مقارنة الأداء معها هي: استراتيجية Broadcast، استراتيجية NCC، استراتيجية Best Route، استراتيجية OMCCRF، استراتيجية OMPIF، واستراتيجية SAF. لقد تم تقييم الأداء وفقاً لعدّة مقاييس هي: متوسط نتيجة الجودة (MOS)، معدل التحميل (download rate)، إجمالي حركة المرور المنقولة (total transmitted traffic)، وكلفة النقل لكل كيلو بايت (cost per kilobyte). لقد تم إجراء عمليات المحاكاة على طوبولوجيا مكونة من 11 عقدة ومقسّمة إلى ثلاث مجموعات من النظام المستقل (AS) واستنتج الباحثون أنّ استراتيجية NRR تقدّم أداءً جيداً من حيث إجمالي حركة المرور المنقولة وكلفة النقل، لكنها ليست جيدة عند نقل الصوت، بينما استراتيجية Broadcast هي

الأسوأ في هذا البحث مشابهةً بذلك استراتيجية NCC. بالإضافة إلى ذلك توصّل الباحثون إلى أنّ استراتيجية Best Route وفّرت أداءً جيداً من حيث كلفة النقل فقط، وأنّ استراتيجية OMCCRF تقدم أداءً أفضل من الاستراتيجيات الأربعة السابقة، بينما تتفوق عليها استراتيجية OMPIF. وبشكل عام، قدّمت استراتيجية SAF أفضل النتائج من حيث متوسط نتيجة الجودة ومعدل التحميل، خصوصاً عند نقل الصوت.

قدّم العمل [13] سياسة جديدة لاستبدال الـ Cache مشتقّة من سياسة CCP واسمها السياسة المحسّنة لاستبدال الـ Cache بالاعتماد على شعبية المحتوى (ICCP)، هذه السياسة المُقترَحة تعتمد في اتخاذ قرار الاستبدال على معاملين هامّين لم يتم أخذهما سابقاً بعين الاعتبار، وهما: معامل الازدحام ومعامل جدول شعبيّة المحتويات المؤرشفة. تم تقييم أداء سياسة ICCP مقابل سياسة الأقل استخداماً مؤخراً (LRU)، وسياسة الداخل أولاً يخرج أولاً ذات الأولوية (PRIORITY-FIFO)، وسياسة CCP. وقد تم إعداد 7 سيناريوهات مختلفة بحيث تكون أجهزة التوجيه مجهزة بمخازن المحتوى على المستويات التالية: 100% أو 80% أو 50% أو 40% أو30% أو 20% أو 5% من إجمالي العقد. أما بالنسبة للمقاييس المستخدمة لتقييم الأداء فهي: CHR، تأخير الاسترداد، عدد القفزات إلى المنبع، حركة المرور على الشبكة، وعدد عمليات إعادة الإرسال. لقد تم إجراء سيناريوهات المحاكاة على طوبولوجيا أولى معروفة باسم شبكة Abilene وهي شبكة مكونة من 11 عقدة، وعلى طوبولوجيا ثانية معروفة باسم شبكة GÉANT وهي شبكة مكونة من 42 عقدة واستنتج الباحثون أن سياسة ICCP هي ذات الأداء الأفضل بين السياسات المدروسة.

إن أهم ما يميز هذا البحث عن غيره من الأبحاث هو أنه يقيّم أداء سياسة استبدال ذاكرة التخزين المؤقت ICCP التي تم اقتراحها في العمل [13] وذلك عند تحقيقها مع كل من استراتيجيات إعادة التوجيه المُدمجة في محاكي ndnSIM. وبعبارةٍ أخرى، يركّز هذا

العمل على اختبار مستوى ملاءمة سياسة استبدال ذاكرة التخزين المؤقت ICCP لمجموعة من استراتيجيات إعادة التوجيه المختلفة وهي: استراتيجية Best Route، استراتيجية SAF، استراتيجية Multicast، واستراتيجية Access. ببساطة يقدّم هذا العمل توصيةً بشأن استراتيجية إعادة التوجيه ذات الأداء الأفضل عند اختيار سياسة ICCP على وجه التحديد كسياسة لاستبدال محتوى ذاكرة التخزين المؤقت.

7- مُحاكي ndnSIM

للقيام بعمليات المحاكاة وتقييم الأداء، يَستخدم هذا العمل محاكي ndnSIM والذي يُعتبر أداة مفيدة جداً للمهتمين بإجراء أبحاث عن NDN، على اعتبار أنها تساعدهم في إنشاء طوبولوجيا المحاكاة، تحديد معلّمات المحاكاة، محاكاة نموذج بروتوكول طبقة الاتصال، محاكاة الاتصال بين عُقد NDN المختلفة، وتسجيل أحداث المحاكاة. لقد تمّ تطوير هذا المحاكي مفتوح المَصدر بالاعتماد على محاكي الشبكات NS-3 من أجل تحقيق مكوّنات NDN على شكل وحدات (Modular Way) باستخدام مجموعة صفوف مكتوبة بلغة C++ لنمذجة سلوك كل مُكوّن من مكوّنات معمارية NDN مثل: المُنتج، المُستهلك، PIT، FIB، CS، وما إلى ذلك [14].

8- إعداد بيئة المحاكاة

تم تنصيب محاكي ndnSIM 2.8 الذي يعتمد على محاكي الشبكات NS-3 وقد تم تشغيله على نظام التشغيل Ubuntu desktop release 22.04 LTS.

تجري عمليات المحاكاة وتقييم الأداء على طوبولوجيا أولى معروفة باسم شبكة أبيلين (Abilene Network)* وهي شبكة مكوّنة من 11 جهاز توجيه كما في الشكل(3) حيث يتم تنصيب المُستهلكين على 10 عقد بينما بيتم اختيار أحد العقد لتنصيب المُنتِج عليها.

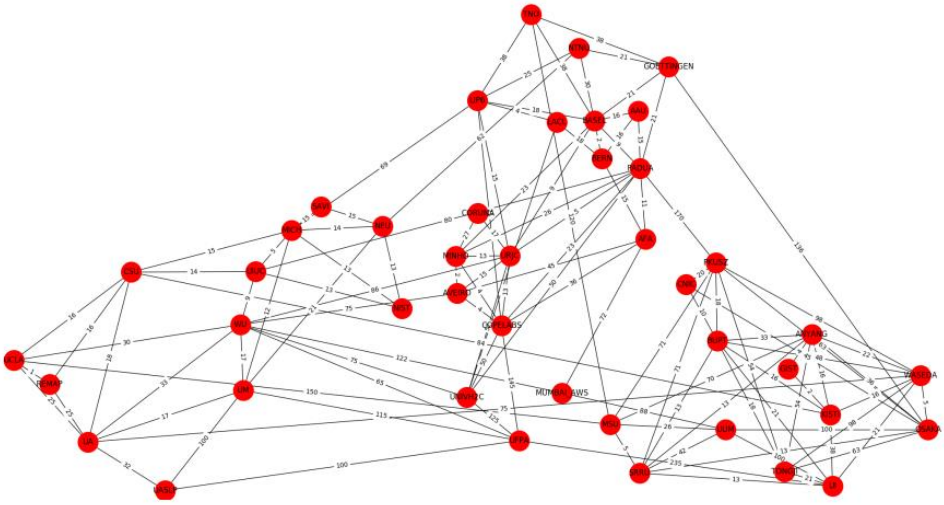
*شبكة يتم استخدامها لأغراض البحث والمحاكاة تكون مكونة من 11 عقدة و 14 وصلة فيما بينها.

الشكل (3): طوبولوجيا شبكة أبيلين. [6]

كما تجري أيضاً عمليات المحاكاة على طوبولوجيا ثانية معروفة بشبكة جيانت (GÉANT Network)** وهي شبكة مكونة من 42 جهاز توجيه كما في الشكل (4) حيث يتم تنصيب المُستهلكين على 41 عقدة بينما يتم اختيار أحد العُقد لتنصيب المُنتِج عليها.

بالإضافة إلى ذلك، يتم إجراء تجارب المحاكاة وفق معلّمات المحاكاة الواردة في الجدول (1).

**شبكة يتم استخدامها لأغراض التعليم والبحث تكون مكونة من 42 عقدة و 112 وصلة فيما بينها.



الشكل (4): طوبولوجيا شبكة جيانت. [6]

الجدول (1): معلّمات المحاكاة التي تم وفقها تقييم الأداء.

مُعلَّم المحاكاة	القيمة
رزم الاهتمام	100 رزمة/ثانية
مستوى الـ cache	5%, 20%, 30%, 40%, 50%, 80%, 100%
حجم CS	1000 محتوى
أنواع المحتوى	1000 نوع
نموذج طلب المحتوى	نموذج (Zipf–Mandelbrot)*
عامل النمذجة	$\alpha = 1.1$
استراتيجيات إعادة التوجيه المدروسة	Best Route, SAF, Multicast, Access
سياسة التخزين المؤقت	LCD
سياسة استبدال الـ cache	ICCP
مدّة المحاكاة	240 ثانية

*هو توزيع احتمالي منفصل في نظرية الاحتمالات والإحصاء [15]

9- مقاييس تقييم الأداء

استخدام هذا البحث ستة مقاييس لمقارنة وتقييم أداء سياسة ICCP عند استراتيجيات إعادة التوجيه الموجودة ضمن بيئة محاكي ndnSIM، وقد تم بالفعل أخذها بعين الاعتبار أثناء مناقشة نتائج المحاكاة. يجري التعرّف على هذه المقاييس كما يلي [3]، [6]:

- **معدّل تلبية رزم الاهتمام (ISR):** هو مقياس يشير إلى النسبة بين رزم الاهتمام التي تم تلبيتها وإجمالي رزم الاهتمام المرسلة من قِبل جميع المستهلكين. من المهم ملاحظة أنّ ارتفاع معدل تلبية رزم الاهتمام يعني إنتاجية أعلى.
- **معدّل إصابة الـ Cache (CHR):** هو مقياس لفعّالية أداء التخزين المؤقت عند تلبية طلبات المحتوى بدلاً من الاضطرار إلى تلبيتها من مكان تخزينها الأصلي. ويمكن تعريفه على أنه النسبة بين طلبات المحتوى التي نجحت تلبيتها بواسطة الـ Cache والعدد الكلي لطلبات المحتوى المرسلة.
- **حركة المرور على الشبكة (Network Traffic):** مقياس يعبّر عن كمية رزم الاهتمام ورزم البيانات (الداخلة إلى العُقد والخارجة منها) التي تتحرك عبر الشبكة.
- **عدد القفزات إلى المنبع (Number of Upstream Hops):** هو مقياس يشير إلى عدد القفزات المطلوبة للوصول للمحتوى المخزّن مؤقتاً في الـ Cache.
- **التأخير (Delay):** مقياس يعبّر عن التأخير بين وقت إصدار الطلب ووقت استلام المحتوى المقابل (بما في ذلك وقت إعادة الإرسال)، أي أنه التأخير الكامل في تسليم البيانات.

- **عدد عمليات إعادة إرسال رزم الاهتمام (Interest Retransmissions):**

  مقياس يعبّر عن عدد عمليات إعادة إرسال رزم الاهتمام في حال إخفاق الوصول إلى الـ Cache (Cache Miss).

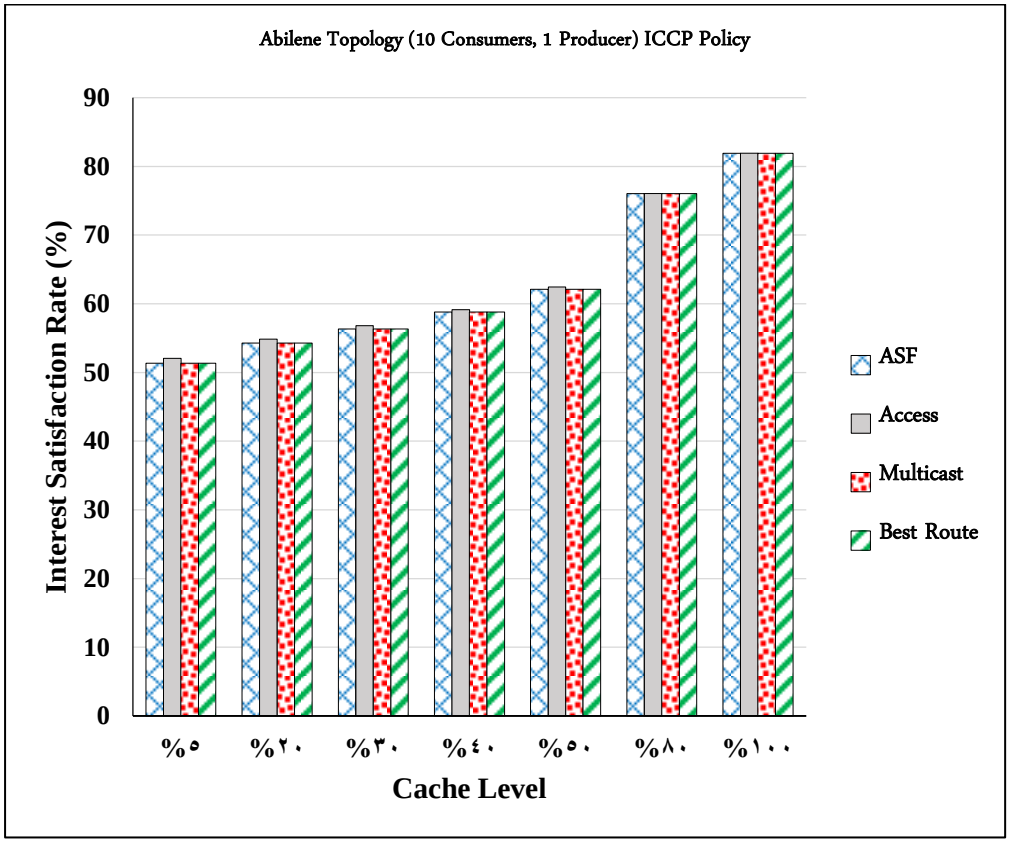
10- النتائج والمناقشة

يتضمن هذا الجزء من البحث النتائج العملية لجميع أعمال المحاكاة جنباً إلى جنب مع المخطّطات البيانية المُوضّحة لنتائج تقييم الأداء. مع التأكيد على أنّ مناقشة النتائج سيجري عرضها وفق المقاييس المشار إليها في [3]،[6]

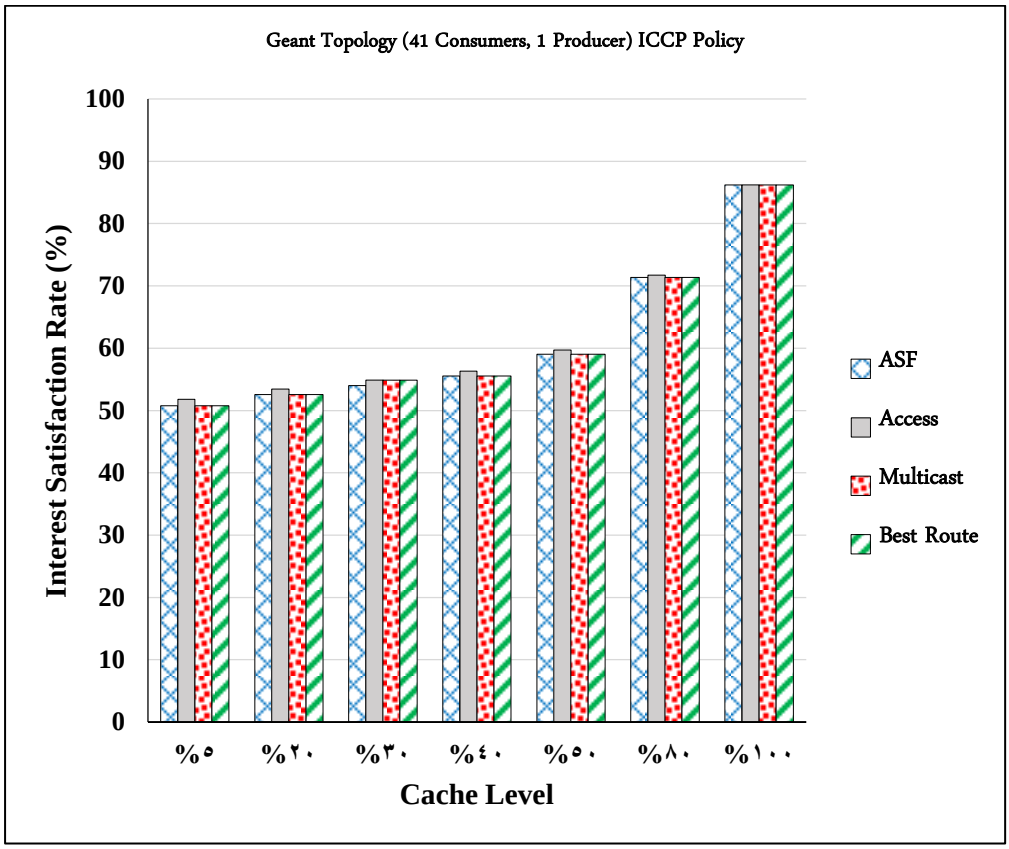
10-1 معدّل تلبية رزم الاهتمام (ISR):

كشفت نتائج المحاكاة كما في الشكل (5) والشكل (6) أنّ سياسة استبدال ذاكرة التخزين المؤقت ICCP تُقدّم أفضل أداء لها عند تحقيقها مع استراتيجية إعادة التوجيه Access. بعبارةٍ أخرى، تتفوق استراتيجية Access على استراتيجيات إعادة التوجيه الأخرى من حيث مقياس ISR عندما يكون عدد العقد المزودة بمخزن المحتوى أصغر أو يساوي 50% من العدد الكلي للعقد في طوبولوجيا Abilene وأصغر أو يساوي 80% من العدد الكلي للعقد في طوبولوجيا Geant.

كما وتقدّم استراتيجية Access أداء مماثلاً لأداء استراتيجيات إعادة التوجيه الأخرى عندما يكون عدد العقد المزوّدة بمخزن المحتوى أكبر من 50% من العدد الكلي للعقد في طوبولوجيا Abilene وأكبر من 80% من العدد الكلي للعقد في طوبولوجيا Geant.



الشكل (5): ISR مقابل نسب مختلفة من مخزن المحتوى في طوبولوجيا Abilene



الشكل (6): ISR مقابل نسب مختلفة من مخزن المحتوى في طوبولوجيا Geant

يفسر سبب هذه النتيجة إلى أن استراتيجية Best Route تحتاج إلى وقت حتى تتعلم الطريق الأقصر، واستراتيجية SAF تحتاج إلى وقت حتى تقوم بتقييم أداء الوصلة وتنفيذ إمكانية الوعي بالسياق. كذلك بالنسبة لاستراتيجية Multicast فإنها ترسل رزم الاهتمام إلى جميع المسارات في FIB بشكل مستمر حتى لو كانت إحدى الواجهات لا تملك طريقاً إلى المنتج. على النحو الآخر فإن استراتيجية Access ترسل رزم الاهتمام وفق آلية الإرسال المتعدد لمرة واحدة فقط، ثم تحدد أفضل مسار لنقل البيانات وهذا ما يجعلها الأفضل.

بالإضافة إلى ذلك، فإن مقياس ISR يكون أعلى في طوبولوجيا Geant لأن عدد رزم الاهتمام المرسلة مع عدد رزم الاهتمام التي تمت تلبيتها يكون أكبر في طوبولوجيا Geant منه في طوبولوجيا Abilene.

10-2 معدّل إصابة الـ Cache (CHR)

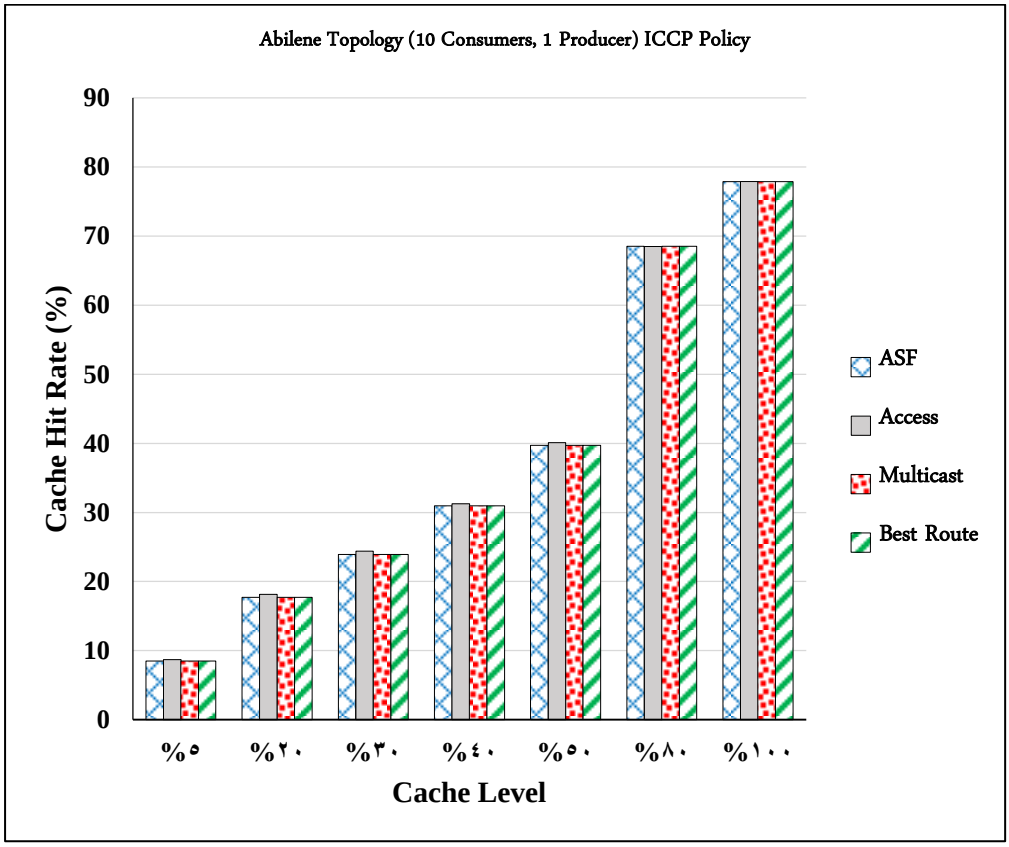
أظهرت نتائج المحاكاة كما في الشكل (7) والشكل (8) أنّ سياسة استبدال ذاكرة التخزين المؤقت ICCP تُقدّم أفضل أداء عند تحقيقها مع استراتيجية إعادة التوجيه Access.

بعبارة أخرى، تتفوق استراتيجية Access على استراتيجيات إعادة التوجيه الأخرى بمقياس CHR عندما يكون عدد العقد المزودة بمخزن المحتوى أصغر أو يساوي 50% من العدد الكلي للعقد في طوبولوجيا Abilene وأصغر أو يساوي 80% من العدد الكلي للعقد في طوبولوجيا Geant.

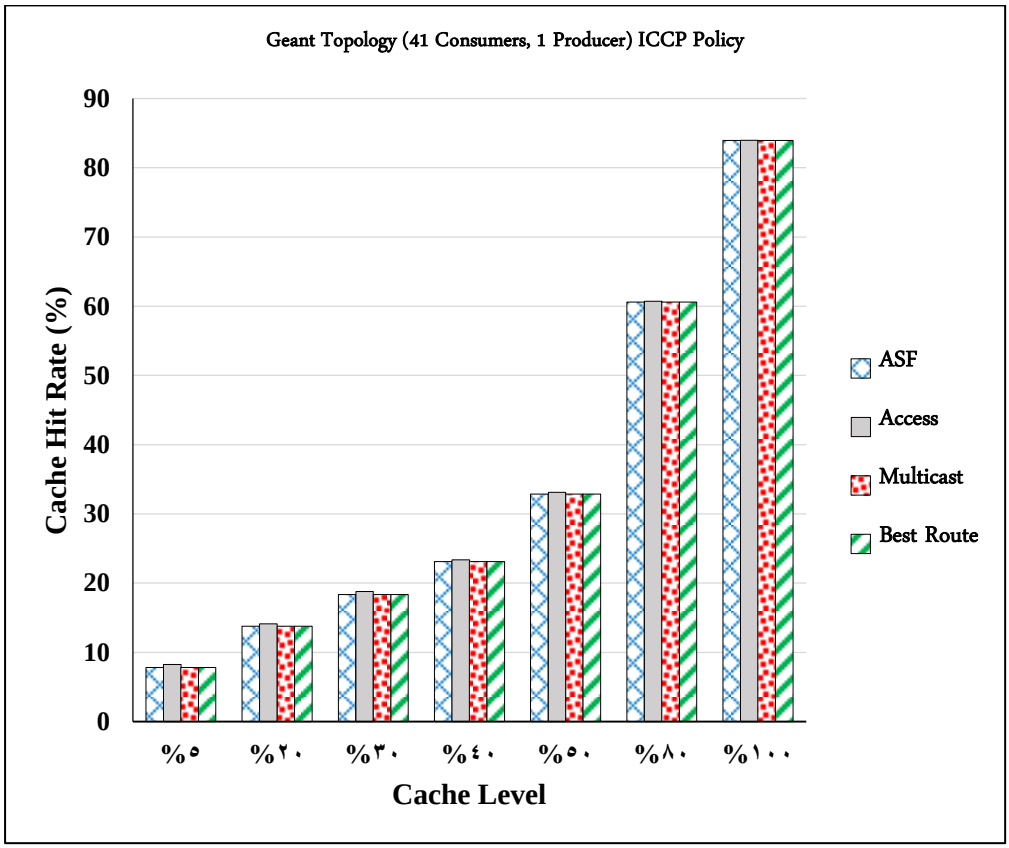
كما وتقدّم استراتيجية Access أداء مماثلاً لأداء استراتيجيات إعادة التوجيه الأخرى عندما يكون عدد العقد المزوّدة بمخزن المحتوى أكبر من 50% من العدد الكلي للعقد في طوبولوجيا Abilene وأكبر من 80% من العدد الكلي للعقد في طوبولوجيا Geant.

يمكن تفسير هذه النتيجة بأن استراتيجية Best Route تحتاج إلى وقت حتى تتعلم الطريق الأقصر، كذلك استراتيجية SAF تحتاج إلى وقت حتى تقوم بتقييم أداء الوصلة وتنفيذ إمكانية الوعي بالسياق. كذلك بالنسبة لاستراتيجية Multicast فإنها ترسل رزم الاهتمام إلى جميع المسارات في FIB بشكل مستمر حتى لو كانت إحدى الواجهات لا تملك طريقاً إلى المنتج. على النحو الآخر فإن استراتيجية Access ترسل رزم الاهتمام وفق آلية الإرسال المتعدد لمرة واحدة فقط، ثم تحدد أفضل مسار لنقل البيانات وهذا ما يجعلها الأفضل.

ويمكن مُلاحظة أنّ CHR يزداد مع زيادة عدد مخازن المحتوى في الشبكة. وسبب هذا السلوك هو أنّه مع وجود المزيد من مخازن المحتوى في الشبكة يكون هناك احتمال أكبر للعثور على المحتوى المطلوب على طول المسار قبل الوصول إلى مُنتج المحتوى.



الشكل (7): CHR مقابل نسب مختلفة من مخزن المحتوى في طوبولوجيا Abilene

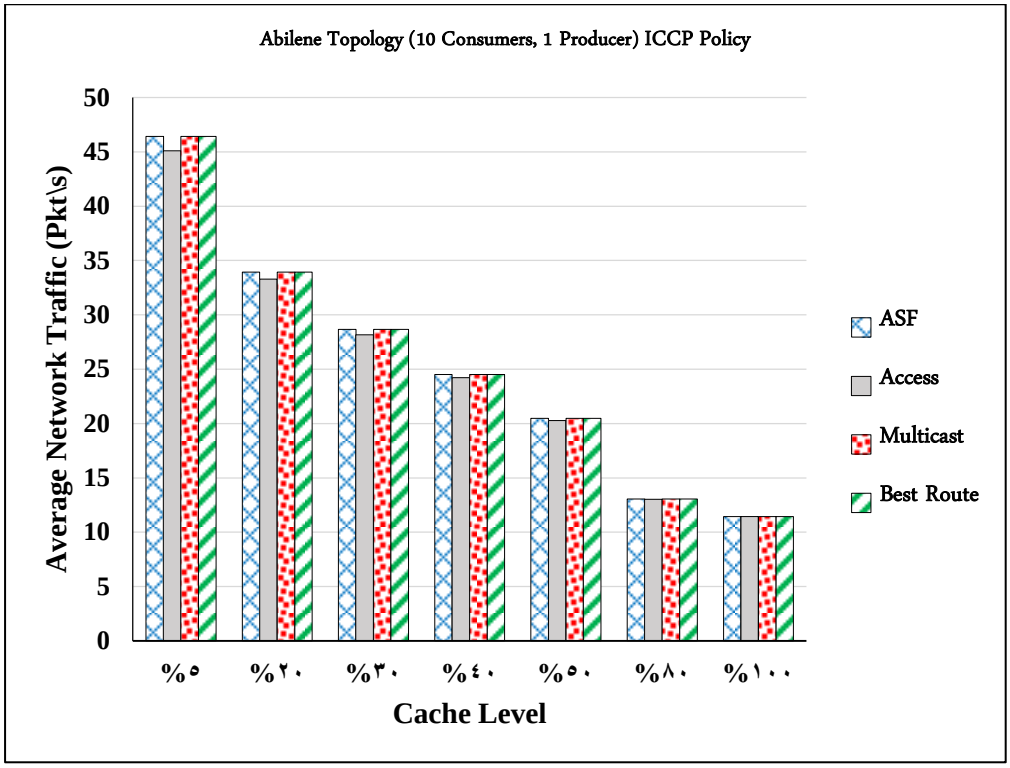


الشكل (8): CHR مقابل نسب مختلفة من مخزن المحتوى في طوبولوجيا Geant

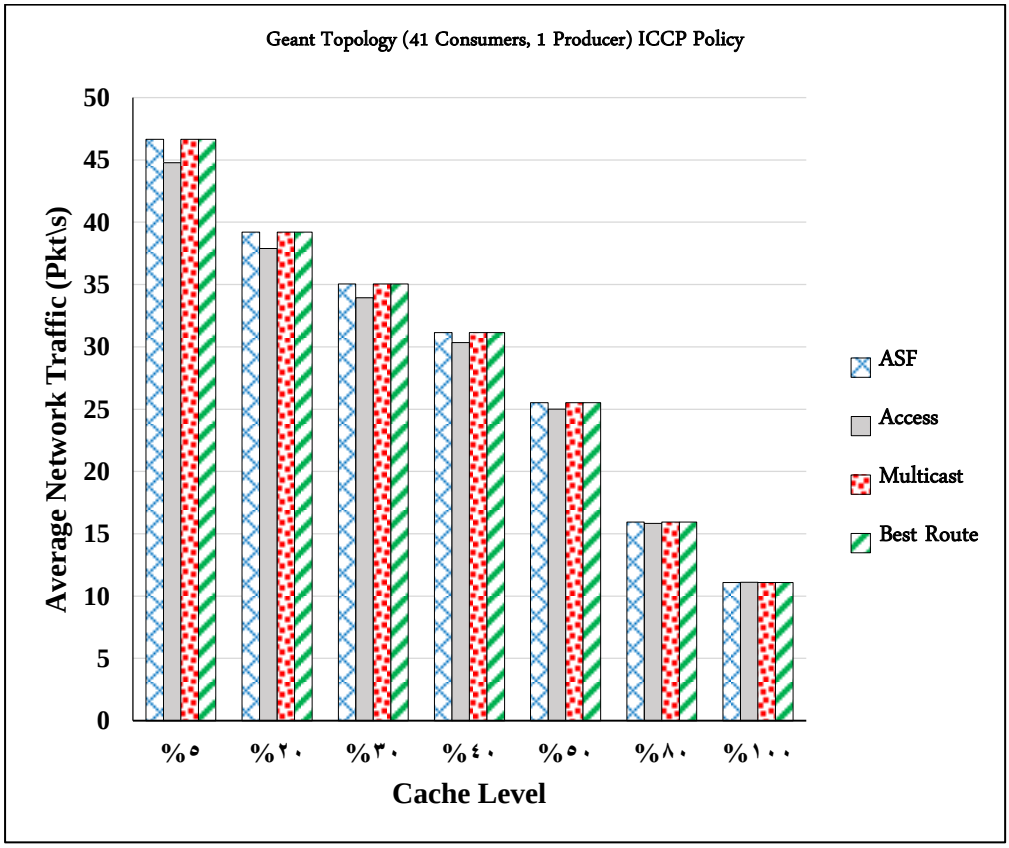
بالإضافة إلى ذلك، فإن مقياس CHR يكون أعلى في طوبولوجيا Geant لأن عدد مخازن المحتوى في طوبولوجيا Geant أكبر منه في طوبولوجيا Abilene. الجدير بالذكر أنه عندما يكون عدد مخازن المحتوى قليل فإنه يتم ملء المخزن المتاح بسرعة، وبالتالي يحدث استبدال ذاكرة التخزين المؤقت بشكل متكرر. لذلك إن حجم مخزن المحتوى يلعب دوراً حيوياً في حجم النتائج المحققة.

3-10 حركة المرور على الشبكة

يبدو واضحاً من الشكل (9) والشكل (10) أنّ سياسة استبدال ذاكرة التخزين المؤقت ICCP تقدّم أداءً أفضل إلى حد ما عند تحقيقها مع استراتيجية إعادة التوجيه Access من حيث متوسط حركة المرور على الشبكة. بمعنى آخر، تتفوق استراتيجية Access على استراتيجيات إعادة التوجيه الأخرى عندما يكون عدد العقد المزودة بمخزن المحتوى أصغر أو يساوي 50% من العدد الكلي للعقد في طوبولوجيا Abilene وأصغر أو يساوي 80% من العدد الكلي للعقد في طوبولوجيا Geant. كما وتقدّم استراتيجية Access أداء مماثلاً لأداء استراتيجيات إعادة التوجيه الأخرى عندما يكون عدد العقد المزوّدة بمخزن المحتوى أكبر من 50% من العدد الكلي للعقد في طوبولوجيا Abilene وأكبر من 80% من العدد الكلي للعقد في طوبولوجيا Geant.



الشكل (9): متوسط حركة المرور على الشبكة مقابل نسب مختلفة من الـ Cache في طوبولوجيا Abilene



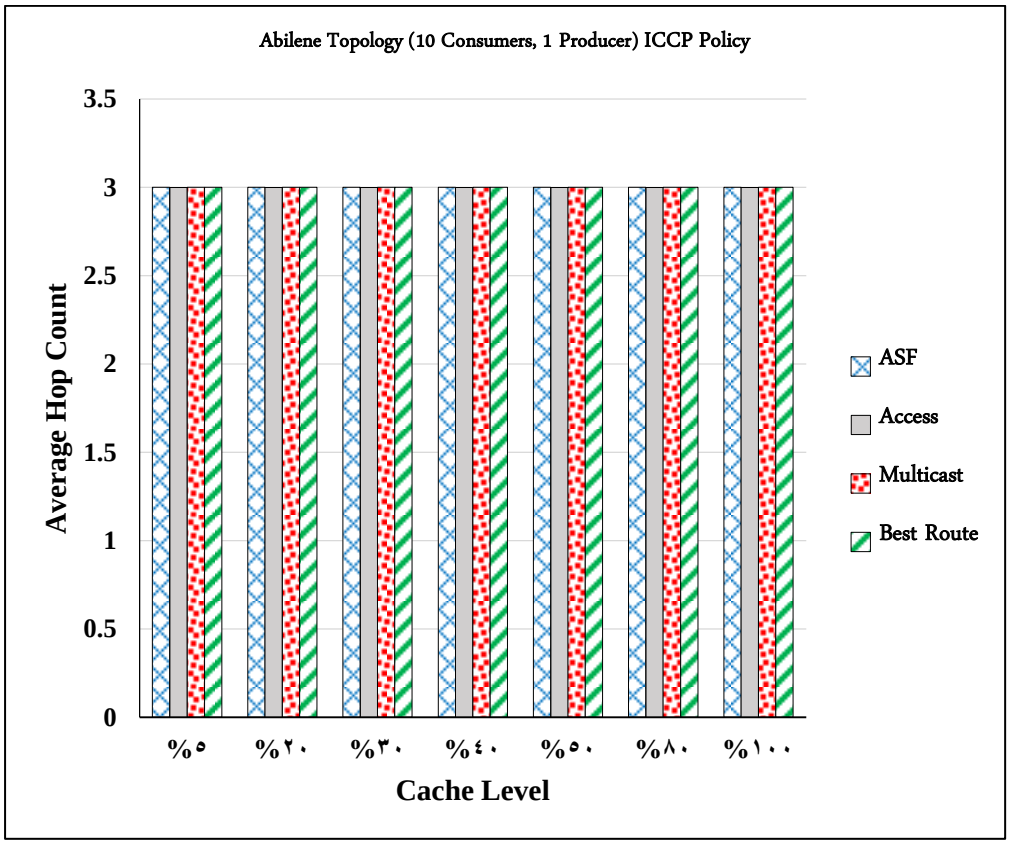
الشكل (10): متوسط حركة المرور على الشبكة مقابل نسب مختلفة من الـ Cache في طوبولوجيا Geant

بالإضافة إلى ذلك، فإن متوسط حركة المرور يكون أكبر في طوبولوجيا Geant لأن عدد رزم الاهتمام/البيانات المرسلة الداخلة إلى العقدة والخارجة منها يكون أكبر في طوبولوجيا Geant منه في طوبولوجيا Abilene.

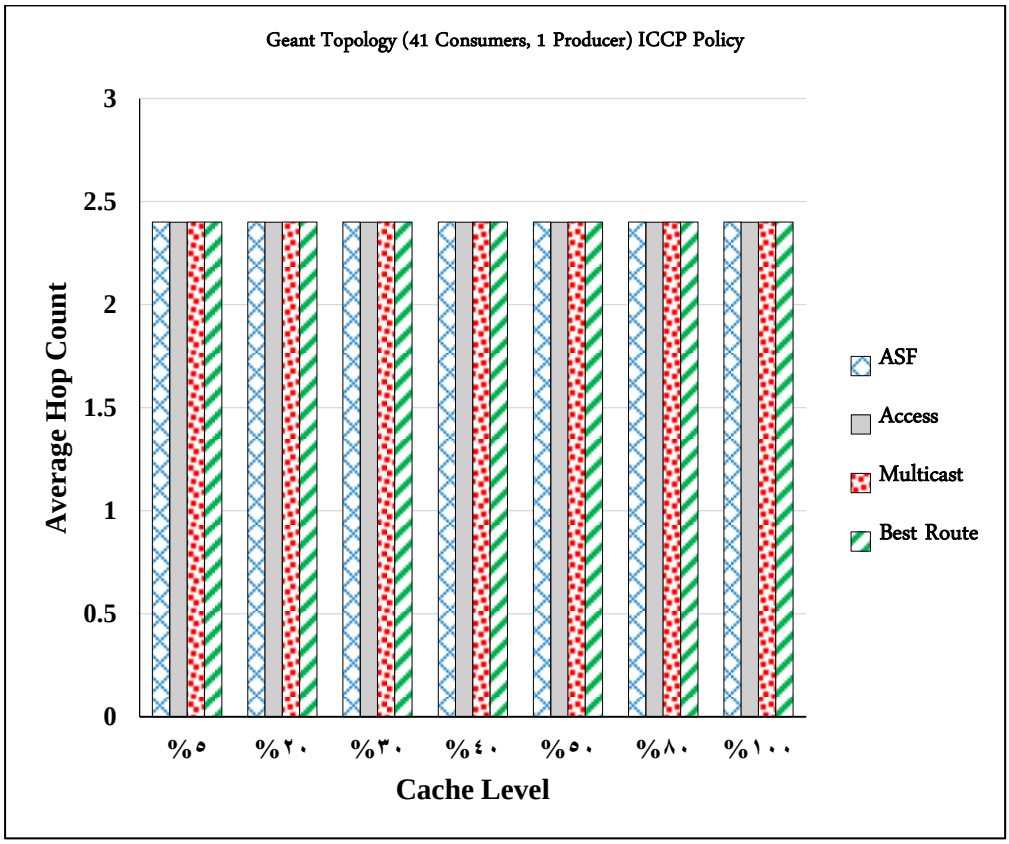
10-4 عدد القفزات إلى المنبع

أوضحت نتائج المحاكاة أنّ سياسة استبدال ذاكرة التخزين المؤقت ICCP تقدّم قيماً متساويةً لمتوسط عدد القفزات عند تحقيقها مع كل من استراتيجيات إعادة التوجيه

المدروسة، كما يُمكن من الشكل (11) والشكل (12) ملاحظة أنّ متوسط عدد القفزات يكون أقل في طوبولوجيا Geant. وسبب هذا السلوك هو أن عدد مخازن المحتوى في طوبولوجيا Geant أكثر من عدد مخازن المحتوى في طوبولوجيا Abilene، وبالتالي يكون احتمال العثور على المحتوى المطلوب في عقدة قريبة من طالب المحتوى (المستهلك) أعلى، ويتم تجنب الطرق الطويلة أي يتم تجنب عدد كبير من القفزات.



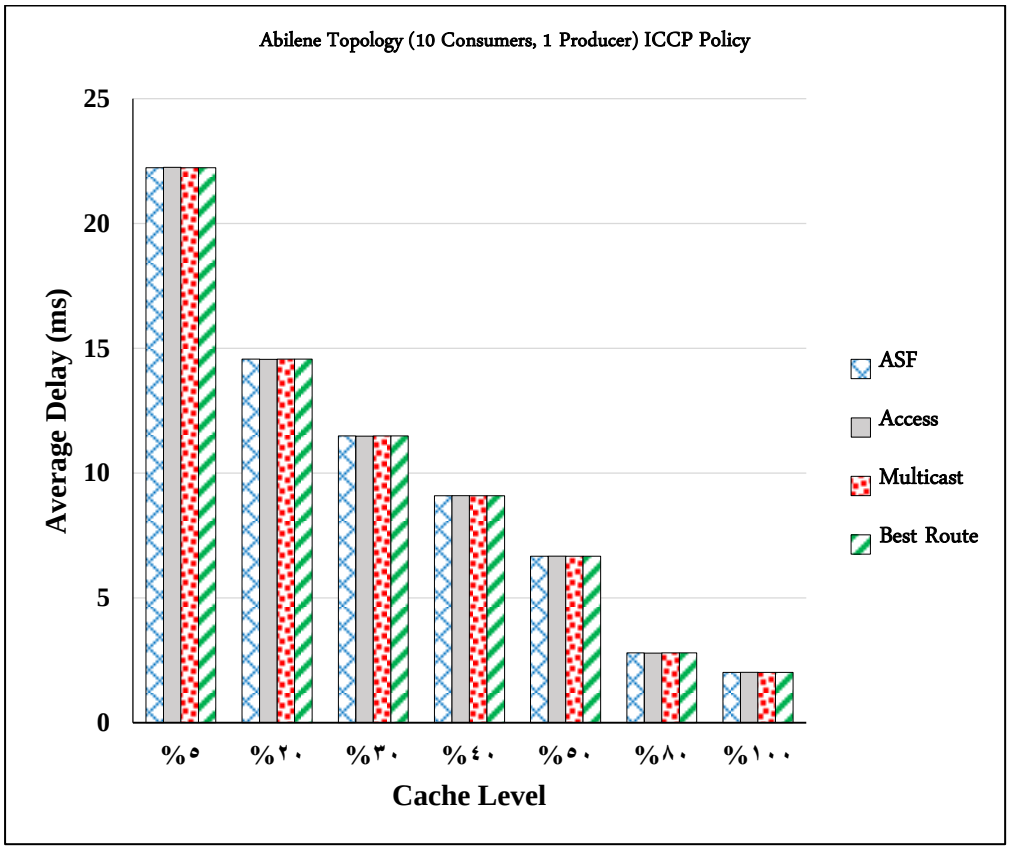
الشكل (11): متوسط عدد القفزات مقابل نسب مختلفة من الـ Cache في طوبولوجيا Abilene



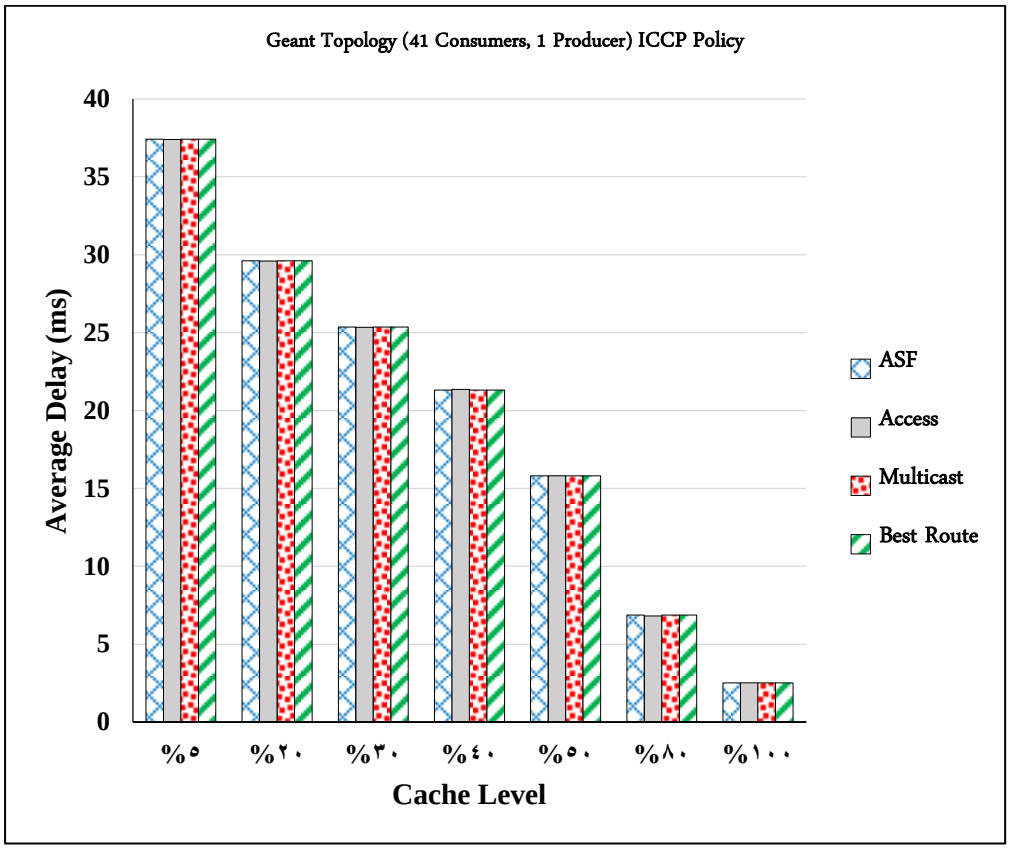
الشكل (12): متوسط عدد القفزات مقابل نسب مختلفة من الـ Cache في طوبولوجيا Geant

10-5 التأخير

لقد تبيّن كما في الشكل (13) والشكل (14) أنّ سياسة استبدال ذاكرة التخزين المؤقت ICCP تقدّم نفس الأداء عند تحقيقها مع كل من استراتيجيات إعادة التوجيه المختلفة. كما يبدو واضحاً أنه مع عدد أكبر من مخازن المحتوى يكون لدينا تأخير أكبر لأنه في هذه الحالة يتم توجيه عدد أكبر من رزم الاهتمام إلى عقدة بعيدة مما يتطلب مزيد من القفزات، أي أنّ زمن الاستجابة سيكون أطول، لأن رزمة الاهتمام يتم إرسالها عبر مزيد من العقد كي تسترد المحتوى.



الشكل (13): متوسط التأخير مقابل نسب مختلفة من الـ Cache في طوبولوجيا Abilene

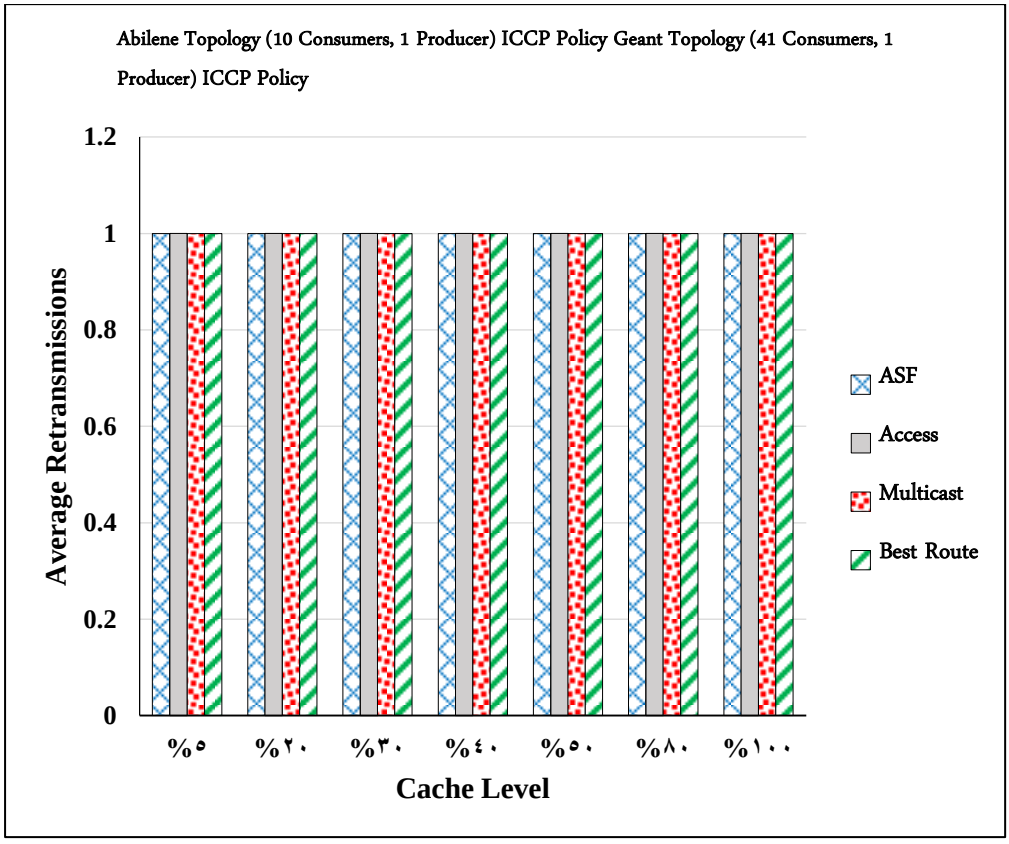


الشكل (14): متوسط التأخير مقابل نسب مختلفة من الـ Cache في طوبولوجيا Geant

وبالعودة إلى متوسط عدد القفزات الذي ناقشناه سابقاً فمن المعقول أن نجد متوسط التأخير الذي تقدمه استراتيجيات إعادة التوجيه المختلفة متساوي فيما بينها، على اعتبار أن متوسط عدد القفزات كان متساوياً أي كلفة الوصول إلى المحتوى التي توفرها الاستراتيجيات الأربعة هي ذاتها.

6-10 عدد عمليات إعادة إرسال رزم الاهتمام

أظهرت نتائج المحاكاة أنّ سياسة استبدال ذاكرة التخزين المؤقت ICCP تقدّم نفس الأداء عند تحقيقها مع كل من استراتيجيات إعادة التوجيه المختلفة. ويمكن ملاحظة أنّ متوسط عدد عمليات إعادة الإرسال يقدّم قيماً متساويةً في كل من طوبولوجيا Abilene وطوبولوجيا Geant كما في الشكل (15)، حيث أنّه عند حدوث إسقاط للرزم فإن معدّل إعادة إرسال رزم الاهتمام يعتبر منخفض ولم يؤثر على مقياس التأخير.



الشكل (15): متوسط عدد عمليات إعادة الإرسال مقابل نسب مختلفة من الـ Cache في طوبولوجياAbilene وطوبولوجيا Geant

11- الخلاصة

توجهت مساعي هذا البحث إلى دراسة وتقييم أداء سياسة استبدال ذاكرة التخزين المؤقت ICCP مع مجموعة من استراتيجيات إعادة التوجيه المختلفة وهي: استراتيجية Best Route، استراتيجية Multicast، استراتيجية Access، واستراتيجية SAF ذلك عند إجراء سيناريوهات محاكاة متعددة. لقد كشفت نتائج المحاكاة وتقيم الأداء بمحاكي ndnSIM أن سياسة ICCP تقدم أفضل أداء لها عند اختيار استراتيجية Access كاستراتيجية لإعادة توجيه رزم الاهتمام. هذا يعني بإيجاز أنّ استراتيجية Access تتفوق على استراتيجيات إعادة التوجيه الأخرى من حيث: CHR، ISR، وحركة المرور على الشبكة من ناحية، وأنّها تقدّم نفس الأداء من حيث عدد عمليات إعادة الإرسال، التأخير، وعدد القفزات من ناحية أخرى.

12- التوصيات والأعمال المستقبلية

من المستحسن تحقيق سياسة ICCP جنباً إلى جنب مع استراتيجية إعادة التوجيه Access، وذلك وفق نتائج المحاكاة التي أظهرت أن سياسة ICCP كثيراً ما تقدم أفضل أداء لها عند اختيار استراتيجية Access كاستراتيجية لإعادة توجيه رزم الاهتمام. من ناحيةٍ أخرى، يوصي هذا العمل باستخدام مقاييس متعدّدة عند تقييم الأداء بما لا يقل عن أربعة مقاييس. القصد من وراء ذلك هو إبراز التباين بين استراتيجيات إعادة التوجيه المختلفة.

من المثير للاهتمام تقييم أداء سياسة ICCP مقابل استراتيجيات إعادة التوجيه المختلفة وذلك ضمن تطبيقات شبكة حقيقيّة مبنيّة بمعماريّة NDN. من الممكن أيضاً توسيع العمل الحالي باستخدام استراتيجيات إعادة توجيه جديدة أخرى غير المضمنة داخل المحاكي ndnSim.

13- جدول المختصرات

AS	Autonomous System
CCP	Cache replacement policy based-on Content Popularity
CDF	Cumulative Distribution Function
CHR	Cache Hit Rate
CS	Content Store
FIB	Forwarding Information Base
FIFO	First In First Out
ICCP	Improved Cache replacement policy based-on Content Popularity
ICN	Information Centric Networking
ISR	Interest Satisfaction Rate
LCD	Leave a Copy Down
LCE	Leave a Copy Everywhere
LFU	Least Frequently Used
LRU	Least Recently Used
MOS	Mean Opinion Score
NDN	Named Data Networking
NRR	Nearest Replica Routing
OMCCRF	Optimal Multipath Congestion Control and Request Forwarding
OMPIF	On-demand Multi-Path Interest Forwarding
PDF	Probability Density Function
PIT	Pending Interest Table
SAF	Stochastic Adaptive Forwarding

14- المراجع

[1] Dodi W. Sudiharto, Anton Herutomo, Yunita N. Rohmah, "The Comparison of Forwarding Strategies between Best Route, Multicast, and Access on Named Data Networking (NDN). Case Study: A Node Compromised by the Prefix Hijack", Journal of Communications Vol. 12, No. 7, 2017.

[2] Marion Renaldo Rotinsulu, Bambang Susilo, Alfan Presekal, et al, "Measuring Quality of Services (QoS) of Several Forwarding Strategies on Named Data Networking(NDN) using ndnSIM", IEEE International Conference on Cybernetics and Computational Intelligence, 2017.

[3] Raja Azlina Raja Mahmood, Nor Faizah Jemangin, Masnida Hussin, "Performance Evaluation of an Adaptive Forwarding Strategy in Named Data Networking", International Journal of Advanced Trends in Computer Science and Engineering Volume 8,No.1.4, 2019.

[4] Muhammed Zaharadeen Ahmed, Aisha Hassan Abdalla Hashim, Afaf Mirghani Hassan, Othman O. Khalifa, Abdulkadir H. Alkali, Abubakar Modibbo Ahmed, "Performance Evaluation of Best Route and Broadcast Strategy for NDN Producer's Mobility", International Journal of Engineering and Advanced Technology (IJEAT) Volume 9, 2019.

[5] Bambang Susilo, Marion Renaldo Rotinsulu, Riri Fitri Sari, "Performance Evaluation of ideal Nearest Replica Routing (NRR) against several Forwarding Strategies on Named Data Networking(NDN)", IEEE Region Ten Symposium (Tensymp), 2018.

[6] Elidio Tomás da Silva, Joaquim Henriques Macedo, António Duarte Costa, "NDN Content Store and Caching Policies: Performance Evaluation", Multidisciplinary Digital Publishing Institute (MDPI), 2022.

[7] Zhang, Lixia, Afanasyev, Alexander, Jacobson, Van, Burke, Jeffrey, et al, "Named data networking", ACM SIGCOMM Computer Communication Review Volume 44 Issue 3, 2014.

[8] Lan Wang, Vince Lehman, Lixia Zhang, et al, "A Secure Link State Routing Protocol for NDN", Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE), 2018.

[9] Elidio Tomás da Silva, António Duarte Costa, Joaquim Henriques Macedo, "On the realization of VANET using named data networking: On improvement of VANET using NDN-based routing, caching, and security", International Journal of Communication Systems 35(18), 2022.

[10] Alex Afanasyev, Jeff Burke, Tamer Refaei, Lan Wang, Beichuan Zhang, Lixia Zhang, "A Brief Introduction to Named Data Networking", Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE), 2019.

[11] Hila Ben Abraham; Patrick Crowley, "Forwarding strategies for applications in Named Data Networking", Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE), 2017.

[12] Sadaq Taher, Osman Ghazali, Suhaidi Hassan, "A Review on Cache Replacement Strategies in Named Data Network", Multidisciplinary Digital Publishing Institute (MDPI), 2022.

[13] سياسة محسَّنة لاستبدال ذاكرة التخزين المؤقت في " يمان غازي، عاصم الحمصيه، ، مجلة جامعة البعث المجلد 46 ، 2024. "شبكات البيانات المسمَّاة

[14] Spyridon Mastorakis, Alexander Afanasyev, Lixia Zhang, "NDN Technical Report, ndnSIM 2: An updated NDN simulator for NS-3". [Online] Available: https://named-data.net/wp-content/uploads/2016/11/ndn-0028-2-ndnsim-v2.pdf [Accessed: 07-Feb-2024].

[15] Madhurima Buragohain, Sukumar Nandi, "LPECN: Leveraging PIT placement and Explicit marking for Congestion control in NDN", 8th ACM Conference on Information-Centric Networking, 2021.