

مجلة جامعة البعث

سلسلة العلوم الهندسية الميكانيكية
والكهربائية والمعلوماتية



مجلة علمية محكمة دورية

المجلد 46 . العدد 5

1445 هـ - 2024 م

الأستاذ الدكتور عبد الباسط الخطيب
رئيس جامعة البعث
المدير المسؤول عن المجلة

رئيس هيئة التحرير	أ. د. محمود حديد
رئيس التحرير	أ. د. درغام سلوم

مدير مكتب مجلة جامعة البعث
د. إبراهيم عبد الرحمن

عضو هيئة التحرير	د. محمد هلال
عضو هيئة التحرير	د. فهد شريباتي
عضو هيئة التحرير	د. معن سلامة
عضو هيئة التحرير	د. جمال العلي
عضو هيئة التحرير	د. عباد كاسوحة
عضو هيئة التحرير	د. محمود عامر
عضو هيئة التحرير	د. أحمد الحسن
عضو هيئة التحرير	د. سونيا عطية
عضو هيئة التحرير	د. ريم ديب
عضو هيئة التحرير	د. حسن مشرفي
عضو هيئة التحرير	د. هيثم حسن
عضو هيئة التحرير	د. نزار عبشي

تهدف المجلة إلى نشر البحوث العلمية الأصيلة، ويمكن للراغبين في طلبها

الاتصال بالعنوان التالي:

رئيس تحرير مجلة جامعة البعث

سورية . حمص . جامعة البعث . الإدارة المركزية . ص . ب (77)

. هاتف / فاكس : 963 31 2138071 ++

. موقع الإنترنت : www.albaath-univ.edu.sy

. البريد الإلكتروني : [magazine@ albaath-univ.edu.sy](mailto:magazine@albaath-univ.edu.sy)

ISSN: 1022-467X

شروط النشر في مجلة جامعة البعث

الأوراق المطلوبة:

- 2 نسخة ورقية من البحث بدون اسم الباحث / الكلية / الجامعة) + CD / word من البحث منسق حسب شروط المجلة.
 - طابع بحث علمي + طابع نقابة معلمين.
 - إذا كان الباحث طالب دراسات عليا:
يجب إرفاق قرار تسجيل الدكتوراه / ماجستير + كتاب من الدكتور المشرف بموافقة على النشر في المجلة.
 - إذا كان الباحث عضو هيئة تدريسية:
يجب إرفاق قرار المجلس المختص بإنجاز البحث أو قرار قسم بالموافقة على اعتماده حسب الحال.
 - إذا كان الباحث عضو هيئة تدريسية من خارج جامعة البعث :
يجب إحضار كتاب من عمادة كليته تثبت أنه عضو بالهيئة التدريسية و على رأس عمله حتى تاريخه.
 - إذا كان الباحث عضواً في الهيئة الفنية :
يجب إرفاق كتاب يحدد فيه مكان و زمان إجراء البحث ، وما يثبت صفته وأنه على رأس عمله.
 - يتم ترتيب البحث على النحو الآتي بالنسبة لكليات (العلوم الطبية والهندسية والأساسية والتطبيقية):
عنوان البحث .. ملخص عربي و إنكليزي (كلمات مفتاحية في نهاية الملخصين).
- 1- مقدمة
 - 2- هدف البحث
 - 3- مواد وطرق البحث
 - 4- النتائج ومناقشتها .
 - 5- الاستنتاجات والتوصيات .
 - 6- المراجع.

- يتم ترتيب البحث على النحو الآتي بالنسبة لكليات (الآداب - الاقتصاد - التربية - الحقوق - السياحة - التربية الموسيقية وجميع العلوم الإنسانية):
- عنوان البحث .. ملخص عربي و إنكليزي (كلمات مفتاحية في نهاية الملخصين).
- 1. مقدمة.
- 2. مشكلة البحث وأهميته والجديد فيه.
- 3. أهداف البحث و أسئلته.
- 4. فرضيات البحث و حدوده.
- 5. مصطلحات البحث و تعريفاته الإجرائية.
- 6. الإطار النظري و الدراسات السابقة.
- 7. منهج البحث و إجراءاته.
- 8. عرض البحث و المناقشة والتحليل
- 9. نتائج البحث.
- 10. مقترحات البحث إن وجدت.
- 11. قائمة المصادر والمراجع.
- 7- يجب اعتماد الإعدادات الآتية أثناء طباعة البحث على الكمبيوتر:
 - أ- قياس الورق 25×17.5 B5.
 - ب- هوامش الصفحة: أعلى 2.54- أسفل 2.54 - يمين 2.5- يسار 2.5 سم
 - ت- رأس الصفحة 1.6 / تذييل الصفحة 1.8
 - ث- نوع الخط وقياسه: العنوان . Monotype Koufi قياس 20
- . كتابة النص Simplified Arabic قياس 13 عادي . العناوين الفرعية Simplified Arabic قياس 13 عريض.
- ج . يجب مراعاة أن يكون قياس الصور والجداول المدرجة في البحث لا يتعدى 12سم.
- 8- في حال عدم إجراء البحث وفقاً لما ورد أعلاه من إشارات فإن البحث سيهمل ولا يرد البحث إلى صاحبه.
- 9- تقديم أي بحث للنشر في المجلة يدل ضمناً على عدم نشره في أي مكان آخر، وفي حال قبول البحث للنشر في مجلة جامعة البعث يجب عدم نشره في أي مجلة أخرى.
- 10- الناشر غير مسؤول عن محتوى ما ينشر من مادة الموضوعات التي تنشر في المجلة

11- تكتب المراجع ضمن النص على الشكل التالي: [1] ثم رقم الصفحة ويفضل استخدام التهميش الإلكتروني المعمول به في نظام وورد WORD حيث يشير الرقم إلى رقم المرجع الوارد في قائمة المراجع.

تكتب جميع المراجع باللغة الانكليزية (الأحرف الرومانية) وفق التالي:
آ . إذا كان المرجع أجنبياً:

الكنية بالأحرف الكبيرة . الحرف الأول من الاسم تتبعه فاصلة . سنة النشر . وتتبعها معترضة (-) عنوان الكتاب ويوضع تحته خط وتتبعه نقطة . دار النشر وتتبعها فاصلة . الطبعة (ثانية . ثالثة) . بلد النشر وتتبعها فاصلة . عدد صفحات الكتاب وتتبعها نقطة .
وفيما يلي مثال على ذلك:

-MAVRODEANUS, R1986- Flame Spectroscopy. Willy, New York, 373p.

ب . إذا كان المرجع بحثاً منشوراً في مجلة باللغة الأجنبية:

. بعد الكنية والاسم وسنة النشر يضاف عنوان البحث وتتبعه فاصلة، اسم المجلد ويوضع تحته خط وتتبعه فاصلة . المجلد والعدد (كتابة مختزلة) وبعدها فاصلة . أرقام الصفحات الخاصة بالبحث ضمن المجلة.
مثال على ذلك:

BUSSE,E 1980 Organic Brain Diseases Clinical Psychiatry News ,
Vol. 4. 20 – 60

ج . إذا كان المرجع أو البحث منشوراً باللغة العربية فيجب تحويله إلى اللغة الإنكليزية و
التقيد

بالبنود (أ و ب) ويكتب في نهاية المراجع العربية: (المراجع In Arabic)

رسوم النشر في مجلة جامعة البعث

1. دفع رسم نشر (40000) ل.س أربعون ألف ليرة سورية عن كل بحث لكل باحث يريد نشره في مجلة جامعة البعث.
2. دفع رسم نشر (100000) ل.س مئة الف ليرة سورية عن كل بحث للباحثين من الجامعة الخاصة والافتراضية .
3. دفع رسم نشر (200) مئتا دولار أمريكي فقط للباحثين من خارج القطر العربي السوري .
4. دفع مبلغ (6000) ل.س ستة آلاف ليرة سورية رسم موافقة على النشر من كافة الباحثين.

المحتوى

الصفحة	اسم الباحث	اسم البحث
44-11	م. حسن حسن د. عمار زقزوق	تقنية جديدة لإلغاء البيانات المكررة على مستوى الملف في التخزين السحابي
82-45	م. محمد حليبه	مقارنة أداء النفاذ المتعدد المتعامد OMA وغير المتعامد PD-NOMA في الوصلة الصاعدة بتطبيق خوارزميات SIC لتخصيص الاستطاعة
106-83	م. علي محرز د. وسيم رمضان د. ناصر أبو صالح	تقييم أداء نماذج اللغة العربية على مهمة الكشف عن الموقف تجاه الأخبار الزائفة
146-107	د. يمان غازي م. عاصم الحمصيه	سياسة مُحسَّنة لاستبدال ذاكرة التخزين المؤقت في شبكات البيانات المُسمَّاة

تقنية جديدة لإلغاء البيانات المكررة على مستوى الملف في التخزين السحابي

م. حسن حسن

طالب دكتوراه، قسم هندسة التحكم الآلي
والحواسيب، كلية الهندسة الميكانيكية
والكهربائية، جامعة البعث

أ.د. عمار زقزوق

أستاذ دكتور، قسم هندسة التحكم الآلي
والحواسيب، كلية الهندسة الميكانيكية
والكهربائية، جامعة البعث

الملخص

تستقبل الأنظمة السحابية بيانات متنوعة، وبأحجام ضخمة، ويتسارع كبير. بعض من هذه الملفات يكون مطابقاً لملفات مخزنة مسبقاً في السحابة، ما يؤدي إلى استنزاف مساحة التخزين. الأمر الذي يؤثر على أداء النظام ككل. لذلك، كان لا بد من تطوير تقنيات تهدف إلى كشف الملفات المكررة لتقليل استهلاك مساحة التخزين. بشكل عام، تعتمد هذه التقنيات على حساب قيمة التجزئة للملفات الواردة إلى السحابة، ومن ثم تتم مقارنة هذه القيمة مع مفاتيح التجزئة المخزنة ضمن جداول تجزئة في التخزين السحابي. لكن يجب الأخذ بالحسبان مشكلة التصادم، والتي ترتبط بطول مفتاح التجزئة، فكلما زاد طول المفتاح قلت نسبة التصادم. في هذا البحث، سنقدم تقنية لإلغاء الملفات المكررة. هذه التقنية تستخدم خوارزمية FNV (Fowler-Noll-Vo) لإنشاء مفتاح تجزئة بطول 1024 بتاً، وذلك من أجل تقليل نسبة التصادم. لزيادة سرعة البحث عن مفتاح التجزئة، قمنا بإنشاء جداول عدة بفهارس متعددة. إذ أنشأنا أربعة جداول لكل نوع من الملفات (الصورة والفيديو والصوت والنص)، وكل جدول يتضمن عشرة فهارس. تعتمد هذه الفهارس على نظام التمثيل العشري، بحيث تأخذ قيماً من 0 حتى 9. يتم توجيه مفتاح الاختزال للملف الوارد إلى الفهرس المخصص ضمن الجدول الموافق لنوعه، وذلك بناءً على البت الأكثر أهمية في مفتاح التجزئة.

الكلمات المفتاحية: البيانات الضخمة - إلغاء البيانات المكررة - خوارزمية FNV - الأنظمة السحابية.

New Technique for Deduplication Data at File–Level in Cloud Storage

Eng. Hasan Hasan

PHD student, Dept. Automatic Control
and Computer Engineering, College of
Electrical and Mechanical Engineering,
ALBaath University

Prof. Ammar Zakzouk

Prof, Dept. Automatic Control and
Computer Engineering, College of
Electrical and Mechanical Engineering,
ALBaath University

Abstract

Cloud systems receive various data, in huge volume, and at great velocity. Some of the files being uploaded to the cloud may match files that already exist, which can lead to storage space being wasted. This can have a negative impact on the overall system performance. Therefore, it was necessary to develop techniques aimed at detecting duplicated files in order to save storage space. Generally, these techniques depend on calculating hash values of incoming files and comparing them with the hash keys stored within hash tables in the cloud storage. The hash value must consider the collision problem. Collision is related to key length, the longer the hash key, the lower the collision rate. In this paper, we will present a technique aimed to deduplicate files. This technique uses Fowler–Noll–Vo (FNV) algorithm to create hash key with length (1024–bits) to reduce the collision rate. In order to

speed up the searching of the hash key, we built multiple tables with multi-indexes. We created four tables, one for each type of files (video, image, text, and audio). Every table contains ten indexes. These indexes are based on the decimal system. These indexes take values from 0 to 9. The hash key of the incoming file is assigned to the specified index of the hash table based on the Most Significant Bit (MSB) in the hash key.

Key-words: Big Data – Data Deduplication – FNV Algorithm – Cloud Systems.

1. Introduction

Big data has three main characteristics: volume, variety, and velocity. Big data comes from different sources with huge quantities and different types, and at a high flow rate. Big data also varies in terms of its structure. Structured data refers to organized files with specific formats, such as relational data, which can be easily stored, retrieved, indexed, searched, and modified. Semi-structured data, like email or XML data, possesses some characteristics of structured data. Unstructured data, such as images, videos, and audios, can be difficult to handle using relational data methods, as they do not have predefined formats [1],[2]. Therefore, hashing technique is used to index and retrieve this data and deal with it through the hash value [3]. On the other hand, duplicated data is part of this data and takes up a space in the cloud storage. Especially, the unstructured data that takes up the largest part of this space. Therefore, techniques to find duplicates had to be developed for using the storage space effectively. Data deduplication process depends on using a hash algorithm to calculate the hash value of the file coming into the cloud storage system. If the value of the incoming file matches the hash value of a file that already exists in the storage system, the incoming file is not stored. A hash table containing all hash keys is

used for stored files [4],[5]. However, as the size of data stored in cloud storage systems increases, the number of hash values stored in the hash table also increases. The larger the table, the longer it takes to search for a specific hash value. To solve this problem, multiple hash table are used to reduce the time complexity. Each hash table is dedicated to a specific type of data, allowing the incoming file's hash value to be compared with the corresponding hash table for that file type. This approach helps to optimize the retrieval process and to improve efficiency [6].

Data collision is an important problem when dealing with hash algorithms, which results when two files with different data have the same hash value. The length of the hash value plays a role in reducing the collision rate. Generally, a longer hash value reduces the chance of collisions. For example, Message Digest-5 algorithm (MD5) produces a 128-bit hash value, while Secure Hash Algorithm-512 (SHA-512) produces a 512-bit hash key, so the collision rate generated by the SHA-512 algorithm is lower than the MD5 algorithm [7]. In this paper, we will introduce a technique to speed up the process of finding the hash value, taking into account the problem of data collision.

2. Related Works

In the cloud, deduplication process is divided into three types based on deduplication technique implementation time, namely User Side, Cross–User Side, and Server Side techniques. User Side Deduplication is done at the user level before the data is uploaded to the cloud. In Cross–User Side, the duplication is detected at the moment users' data is uploaded to the cloud. Thus, this technique is more effective than User Side Deduplication. In Server–Side Deduplication, incoming files are compared with files stored in the cloud, so that only unique data is stored. This technique is considered the most effective technique [8].

We'll show some of the cloud deduplication techniques:

1– A technique was proposed a technique to deduplicate data based on client–side. Deduplication process obtains before uploading data to the cloud [9]. This technique reduces the volume of data uploaded to the cloud. But since the process of deduplication is done on the client side. The uploaded data may match previously stored data.

2– A technique was proposed that used MD5 to deduplicate all types of files. A hash table contains all hash values of all files. For every file coming to the cloud, its hash value is compared with all

the hash values in the cloud. If the received value does not match one of the stored values, the file is stored. For each incoming file, it is compared with all files, and this complexity increases with more files stored in the cloud [10]. The time complexity of this method increases as the number of files stored increases.

3- A technique was proposed to deduplicate data from multi-user before storing data in the cloud. When users want to upload data to the cloud, the duplicated data are detected to obtain the unique data, then upload data to the cloud [11]. This technique is considered moderate in effectiveness and time complexity among previous techniques

4- A technique was proposed to deduplicate data in Hadoop. Hash table was designed in name-node. For every block of file was used hash key using SHA-512. Each hash key is compared with the existing keys. If it does not match, the block is stored in Hadoop Distributed File system. SHA-512 generates hash value with 512 bits. So, SHA-512 has the lowest collision rate than the previous algorithms [12].

5- A technique was proposed to solve the storage issues and deduplication in Hadoop. A table with hash keys is built in Hbase. The SHA-256 was used. The process of reading from HBase is faster than Hadoop Distributed File System (HDFS) [13].

6- An approach was proposed to improve the searching time of duplicate data. dedicated hash tables were designed, hash table for each digital data type. For each incoming file, its hash key is compared with the hash table corresponding to its type. Thus, the time required for the matching process is reduced compared to previous techniques. However, this technique did not give importance to the type of hash algorithm [6].

7- A technique was proposed that used MD5 to check whether text file is available over cloud environment before uploading it. User uploads file hash value to the cloud server, then check whether the hash is existed or not to store the text file [14].

3. FNV Algorithm

Fowler–Noll–Vo (or FNV) is a non-cryptographic hash function. The current versions are FNV-1 and FNV-1a. FNV currently comes in 32-, 64-, 128-, 256-, 512-, and 1024-bit variants [15]. FNV algorithm has three characteristics:

1- Speed of computation – As a hash designed primarily for hash table and checksum use, FNV-1 and FNV-1a were designed to be fast to compute. However, this same speed makes finding specific hash values (collisions) by brute force faster.

2- Sticky state – Being an iterative hash based primarily on multiplication and XOR, the algorithm is sensitive to the number

zero. Specifically, if the hash value were to become zero at any point during calculation, and the next byte hashed were also all zeroes, the hash would not change. This makes colliding messages trivial to create given a message that results in a hash value of zero at some point in its calculation. Additional operations, such as the addition of a third constant prime on each step, can mitigate this but may have detrimental effects on avalanche effect or random distribution of hash values.

3- Diffusion – The ideal secure hash function is one in which each byte of input has an equally-complex effect on every bit of the hash. In the FNV hash, the ones place (the rightmost bit) is always the XOR of the rightmost bit of every input byte. This can be mitigated by XOR-folding (computing a hash twice the desired length, and then XOR the bits in the "upper half" with the bits in the "lower half").

3.1. FNV-1 Hash

The FNV-1 bits hash algorithm is as follows:

1- hash := FNV_offset_basis;

2- for each byte_of_data to be hashed do:

i- hash := hash \times FNV_prime % 2^x ; x: key length

ii- hash := hash XOR byte_of_data AND 255;

3- return hash;

4. Proposed Algorithm

Deduplication at the file-level in the cloud system consists of several stages, starting with the stage of receiving the file and ending with the decision-making process to store the file or not. The effectiveness of the data deduplication technique is represented by the hash algorithm used and the indexing process. We propose an index system consisting of multi-table and multi-indexes.

4.1. Index System

In the cloud server, we have built four tables for every type of data to store hash values. The tables are: image table, video table, audio table, and text table. Every table contains 10 indexes based on decimal system. First Index is 0 and final index is 9. So, we have 4 tables and every table has 10 indexes, as shown in the Figure (1).

Image table									
0	1	2	3	4	5	6	7	8	9

Video table									
0	1	2	3	4	5	6	7	8	9

Audio table									
0	1	2	3	4	5	6	7	8	9

Text table									
0	1	2	3	4	5	6	7	8	9

Figure (1): Index system

7- Compare this hash with hashes in this index.

8- If there is no match with one of the hashes, the file is stored in the cloud environment and the hash is stored in the corresponding index.

Based on the aforementioned, the general scheme of the proposed technique can be built in the Figure (3).

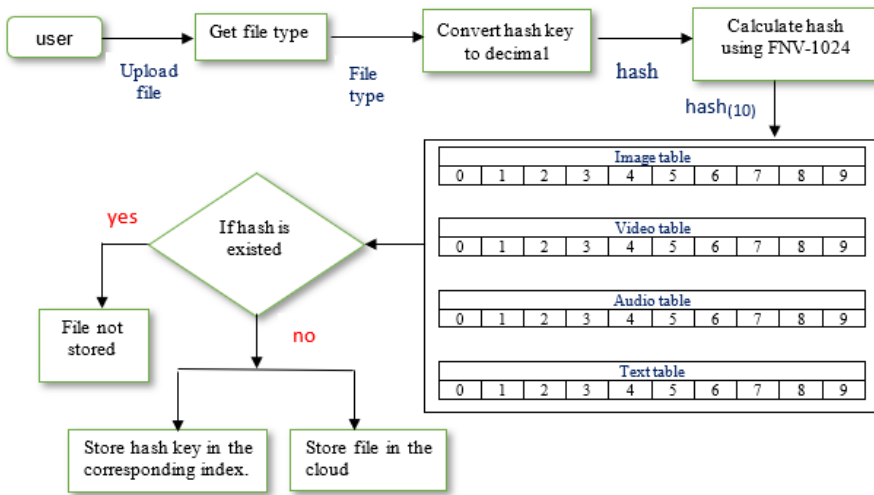


Figure (3): Proposed technique.

5. Experiments

We perform experiments in CloudSim. CloudSim is used for modelling and simulating of cloud computing environments and infrastructure which is intended to be used for experimenting with various scheduling and allocation algorithms.

In this section, we will present several models of data stored in cloud environment and incoming files to the cloud storage in order to present sufficient results for this technique, and to compare it

with previous techniques. These models include the number of keys stored in the hash tables, which indicate the number of files stored in the cloud environment, and also include the variation in the type of files coming into the cloud and the variation in the duplication of different types of data.

Let's have 2,124 files stored in the cloud, 720 video files, 820 image files, 450 audio files, and 134 text files. Hash indexes include variable keys of these files. Using the proposed method. The hash value of any incoming file is stored within the index corresponding to the hash value prefix (MSB) within the table corresponding to the file type. Table (1) shows how hash values are stored using the proposed technique

Text table		Audio table		Image table		Video table	
Num. of hashes	Index	Num. of hashes	Index	Num. of hashes	Index	Num. of hashes	Index
18	0	22	0	76	0	82	0
16	1	34	1	64	1	51	1
27	2	87	2	57	2	33	2
10	3	10	3	97	3	78	3
7	4	87	4	80	4	92	4
15	5	16	5	43	5	102	5
12	6	45	6	81	6	29	6
21	7	92	7	117	7	67	7
8	8	29	8	113	8	133	8
10	9	28	9	92	9	53	9

Table (1): Example for hashes stored in the hash tables using the proposed technique

For video files, 82 hash values in index (0), 51 hash values in index (1), 33 hash values in index (2), and so on.

For image files, 76 hash values in index (0), 64 hash values in index (1), 57 hash values in index (2), and so on.

For audio files, 22 hash values in index (0), 34 hash values in index (1), 87 hash values in index (2), and so on.

For text files, 18 hash values in index (0), 16 hash values in index (1), 27 hash values in index (2), and so on.

- **Time Complexity:**

The time complexity ($O(n)$) of deduplication algorithms is related to the way hash values are indexed. Therefore, the time complexity increases as the number of comparisons required between the hash value of the incoming file and the stored hash values increases to determine whether the file is a duplicate or not. The fewer the number of comparison operations, the lower the time needed to search for the deduplicated key, resulting in a reduced time complexity. Thus, we can refer to n as the maximum number of comparison operations necessary to determine whether the file is duplicated or not.

In the indexing method based on a single hash table, any file uploaded to the cloud will be compared with all stored hash

values. Because there is only one table for all hash values, this technique has a high time complexity.

On the other hand, in the indexing method based on storing hash values for files of the same type within a hash table, any file uploaded to the cloud will only be compared with the hash values of files of the same type. For example, when an audio file is uploaded, its hash value will only be compared with the hash values of audio files. Therefore, the time complexity is lower than the method relying on a single hash table.

In the proposed method, we created a hash table for each data type and within each table, we created multiple indexes based on the decimal system. For example, when an audio file is uploaded, its hash value is not compared with all files or even all audio files, but only with audio files with the same prefix. As a result, the proposed technique requires less time compared to the previous two techniques.

Efficiency Coefficient:

The time complexity decreases as the number of comparison operations for deduplicated keys decreases, resulting in a higher efficiency coefficient. The efficiency coefficient is determined by the ratio of the maximum number of comparison operations to find the hash key to the total number of hash keys stored in the cloud.

This coefficient ranges between 0 and 1, with lower values indicating a higher effectiveness in reducing time complexity. Let us denote the efficiency coefficient by (e), and the maximum number of comparison operations to find the hash key by (m), and the total number of hash keys stored in the cloud (n). Thus, the efficiency coefficient can be expressed by the equation (1).

$$e = \frac{m}{n} \quad (1)$$

1- Video File:

Table (2) shows the maximum number of comparisons for incoming video files based on the most significant bit of the hash key using the proposed technique.

MB (9)	MSB (8)	MSB (7)	MSB (6)	MSB (5)	MSB (4)	MSB (3)	MSB (2)	MSB (1)	MSB (0)	MSB of hash	Video file
53	133	67	29	102	92	78	33	51	82	Max.Number of comparisons	

Table (2): The Maximum number of comparisons for a video file

- **Comparison with previous techniques:** Using a single hash table, a hash key of a video file coming to the cloud may be compared with all the hash keys of all files (with 2124 hash keys). If multiple hash tables are used, the hash key may be compared with 720 hash keys. Using the proposed technique, the maximum number of comparisons is 133 comparisons.

Technique	The maximum Number of comparisons
Single hash table	2124
Multi hash table	720
Proposed technique	133

Table (3): Comparison between techniques for a video file

In the technique based on using a single hash table. It doesn't matter what type of file is uploaded to the cloud. It can be compared with all stored hash values because there is only one hash table for all files stored in the cloud. Therefore, the number of instances of comparing the hash value of the incoming file with the stored values is related to the number of files stored in the cloud. As for the technique that relies on multiple hash tables, when uploading a video file. The number of comparison instances is only related to the number of video files stored in the cloud and not to the number of all file types. In the proposed technique, the number of comparison instances relates only to video files with the same prefix (MSB) and not to all stored video files. Figure (4) shows the difference between the proposed technique and other techniques in terms of the number of comparisons

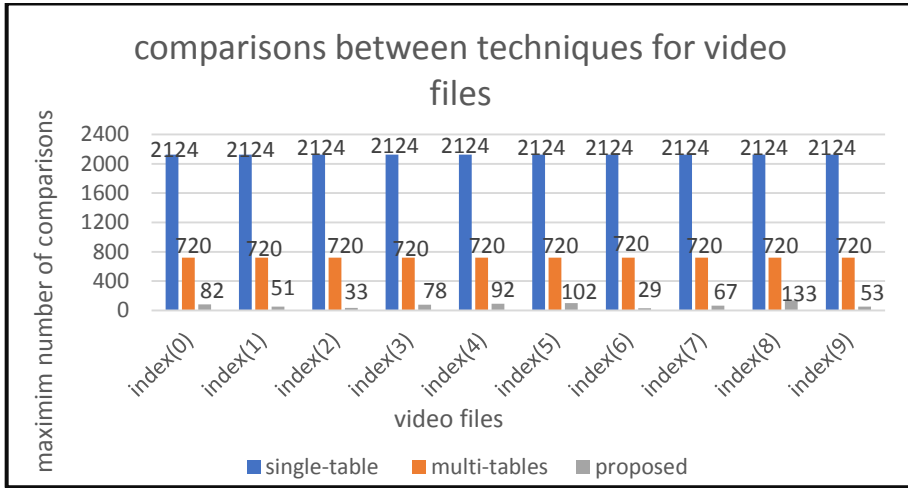


Figure (4): Comparisons between techniques for video files

- **Efficiency Coefficient:**

Proposed technique: The maximum number of comparisons to find the hash key is 133 comparisons, but it could be less. Thus, the largest

value that the efficiency coefficient can reach:

$$e = \frac{133}{2124} = 0.062$$

Multi-tables technique:

$$e = \frac{720}{2124} = 0.3389$$

Single-table technique:

$$e = \frac{2124}{2124} = 1$$

From the previous equations, we note that the efficiency coefficient of the proposed technique is lower than the previous techniques,

and thus the time complexity is less.

2- Image File:

Table (4) shows the number of comparisons for incoming image files based on the most significant bit of the hash key.

MSB (9)	MSB (8)	MSB (7)	MSB (6)	MSB (5)	MSB (4)	MSB (3)	MSB (2)	MSB (1)	MSB (0)	MSB of hash	Image file
92	113	117	81	43	80	97	57	64	76	Max.Number of comparisons	

Table (4): The maximum number of comparisons for an image file

- **Comparison with previous techniques:**

Using a single hash table, a hash key of an image file coming to the cloud may be compared with all the hash keys of all files (with 2124 hash keys). If multiple hash tables are used, the hash key may be compared with 820 hash keys. Using the proposed technique, the maximum number of comparisons is 113 comparisons.

Technique	The maximum Number of comparisons
Single hash table	2124
Multi hash table	820
Proposed technique	113

Table (5): Comparison between techniques for an image file.

For all existing image files stored in the cloud, Figure (5) shows the difference between the proposed technique and previous techniques in terms of the number of comparisons.

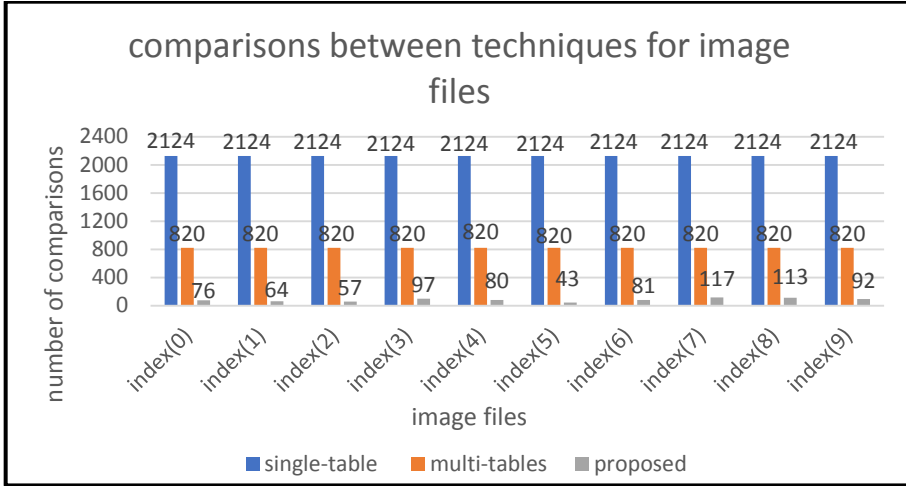


Figure (5): Comparisons between techniques for image files

- **Efficiency Coefficient:**

Proposed technique: The maximum number of comparisons to find the hash key is 113 comparisons, but it could be less. Thus, the largest value that the efficiency coefficient can reach:

$$e = \frac{113}{2124} = 0.0532$$

Multi-tables technique:

$$e = \frac{820}{2124} = 0.386$$

Single-table technique:

$$e = \frac{2124}{2124} = 1$$

From the previous equations, we note that the efficiency coefficient

of the proposed technique is lower than the previous techniques, and thus the time complexity is less.

3- Audio File:

Table (6) shows the number of comparisons for incoming audio files.

MSB (9)	MSB (8)	MSB (7)	MSB (6)	MSB (5)	MSB (4)	MSB (3)	MSB (2)	MSB (1)	MSB (0)	MSB of hash	Audio file
28	29	92	45	16	87	10	87	34	22	Max.Number of comparisons	

Table (6): The Maximum number of comparisons for an audio file

- **Comparison with previous techniques:**

Using a single hash table, a hash key of an audio file coming to the cloud may be compared with all the hash keys of all files (with 2124 hash keys). If multiple hash tables are used, the hash key may be compared with 820 hash keys. Using the proposed technique, the maximum number of comparisons is 113 comparisons.

Technique	The maximum Number of comparisons
Single hash table	2124
Multi hash table	450
Proposed technique	92

Table (7): Comparison between techniques for an audio file

For all existing audio files stored in the cloud, Figure (6) shows the difference between the proposed technique and previous techniques in terms of the number of comparisons.

• **Efficiency Coefficient:**

Proposed technique: the maximum number of comparisons to find the hash key is 133 comparisons, but it could be less. Thus, the largest value that the efficiency coefficient can reach:

$$e = \frac{92}{2124} = 0.0433$$

Multi-tables technique:

$$e = \frac{450}{2124} = 0.2118$$

Single-table technique:

$$e = \frac{2124}{2124} = 1$$

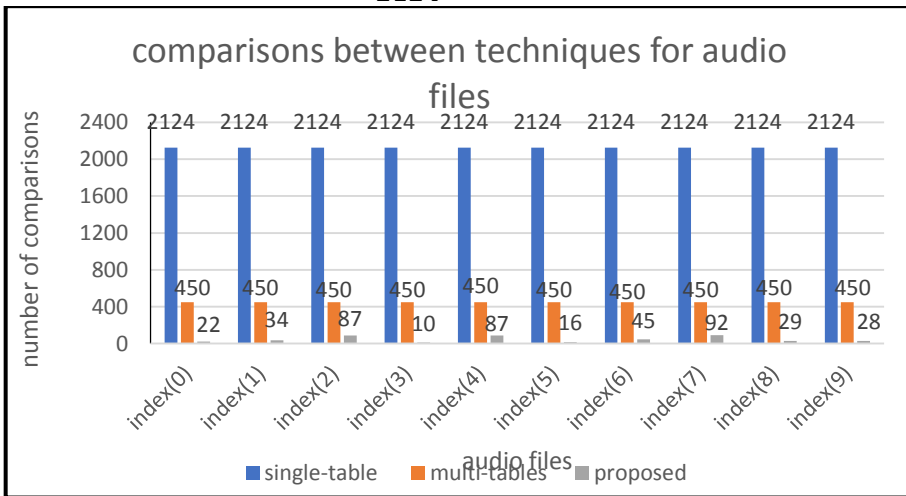


Figure (6): Comparisons between techniques for audio files

4- Text File:

Table (8) shows the number of comparisons for incoming text files based on the most significant bit of the hash key.

MSB (9)	MSB (8)	MSB (7)	MSB (6)	MSB (5)	MSB (4)	MSB (3)	MSB (2)	MSB (1)	MSB (0)	MSB of hash	Text file
10	8	21	12	15	7	10	27	16	18	Max.Number of comparisons	

Table (8): The Maximum number of comparisons for a text file

- **Comparison with previous techniques:**

Using a single hash table, a hash key of a text file coming to the cloud may be compared with all the hash keys of all files (with 2124 hash keys). If multiple hash tables are used, the hash key may be compared with 820 hash keys. Using the proposed technique, the maximum number of comparisons is 113 comparisons.

Technique	The maximum Number of comparisons
Single hash table	2124
Multi hash table	450
Proposed technique	92

Table (9): Comparison between techniques for a text file

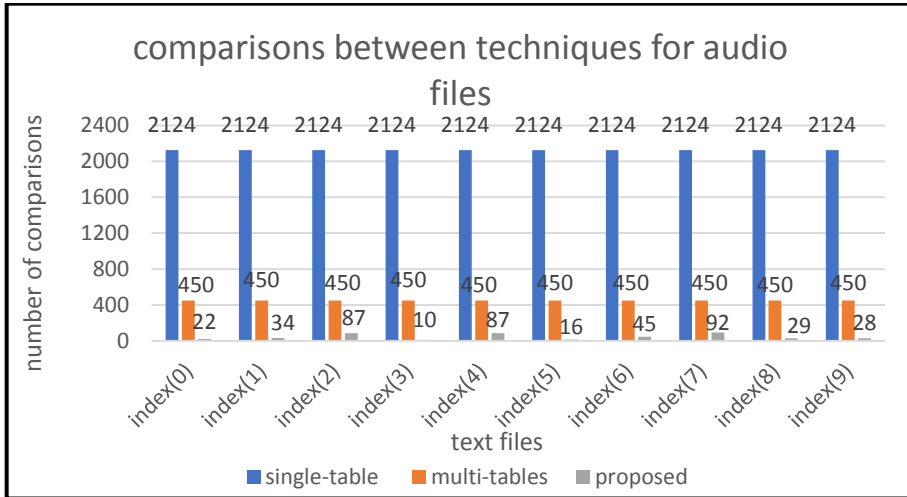


Figure (7): Comparisons between techniques for text files.

For all existing text files stored in the cloud, Figure (7) shows the difference between the proposed technique and previous techniques in terms of the number of comparisons.

- **Efficiency Coefficient:**

Proposed technique: The maximum number of comparisons to find the hash

key is 133 comparisons, but it could be less. Thus, the largest value that the efficiency coefficient can reach:

$$e = \frac{27}{2124} = 0.0127$$

Multi-tables technique:

$$e = \frac{134}{2124} = 0.063$$

Single-table technique:

$$e = \frac{2124}{2124} = 1$$

Using the proposed technique, the number of operations required to compare the hash key of the incoming files with the stored keys varies with the change of the most significant bit in the hash key. While using the technique based on a single hash table, the number of comparisons relates to the number of all files stored in the cloud. As the number of data stored in the cloud increases, the length of the hash table will increase and the time to search for hash keys will increase. While using technique based on multiple hash tables, the number of comparisons relates to the number of files with the same type. For a video file coming to the cloud, it will be compared with all the hash keys of the stored video files, and the same applies to the rest of the files. Therefore, by using the proposed technique, the number of comparisons will be reduced compared to the previous technique, regardless of the number of files received to the cloud or the number of files stored in the cloud. Table (10) presents other experiments with the mentioned techniques. These experiments differ in the number of files stored in the cloud (multiple datasets), in the number of files of the same type, and in the number of files received into the cloud.

Dataset	Incoming files	Number of files in the cloud					The maximum number of comparisons		
		All files	Videos	images	audios	Texts	Single-table	Multi-table	Proposed-technique
Dataset 1	48	3420	1100	600	820	900	164160	35400	16350
Dataset 2	23	4115	850	1560	790	915	94645	27310	12905
Dataset 3	30	6325	900	870	1700	2855	189750	41660	17375
Dataset 4	56	7830	1930	2351	1246	2303	438480	115614	58336
Dataset 5	61	9140	2107	1415	3620	1998	557540	141103	44090

Table (10): Comparison between techniques for multi-datasets.

From the table (10), we observe several additional experiments on datasets that differ in the number of files stored in the cloud and the number of files to be uploaded to the cloud. Let's take Dataset1, we have 3420 files stored in the cloud, consisting of 1100 videos, 600 images, 820 audio files, and 900 text files. The cloud storage system receives 48 files (8 videos, 30 images, 5 audio files, 5 text files). Using the technique based on single-hash tables, the hash key of each incoming file will be compared with all the hash keys of the stored files in the cloud. This is because all the hash keys are stored in a single table. Therefore, the maximum number of operations to compare the hash value of one file with the stored values is 3420 operations. Hence for all incoming files the maximum number of required comparison operations would be $(48*3420=164160)$ comparisons. Using the

technique based on multiple-hash tables, each of the 42 incoming files will be compared with the corresponding hash table based on its type, rather than comparing it with all the stored keys. Therefore, the number of comparison operations would be $(8*1100+30*600+5*900+5*820=35400)$. With the proposed technique, the hash key is not compared with all the hash keys as in the technique based on a single hash table. Also, each file is not compared with the corresponding type. Instead, each hash key is compared with the keys that have the most significant bits in common with this key, for files of the same type. For example, for the eight video files, the hash keys for these files are compared only with the corresponding hash keys for the most significant bit in these keys.

5. Results Discussion

The proposed technique demonstrated superior performance compared to existing deduplication techniques that use either a single hash table or multiple hash tables. The proposed technique reduced the number of comparisons between the hash key of the file received from the user and the stored files in the cloud.

As a result, the proposed technique accelerated the process of searching for the hash key better than the previous techniques. In contrast, the technique based on a single hash table had a higher

collision rate, as the hash key was compared with all existing hash keys and using the technique based on multi-hash tables, the hash key of a file will be compared with all the hash keys of files matching that file type. As for the proposed technique, the proposed technique, where files of the same type are not compared, but rather a smaller number of hash keys are compared. Even in the case of the maximum number of comparisons, the proposed technique still resulted in fewer comparisons than previous techniques. The proposed technique used a hash key of 1024 bits length by using FNV algorithm. As for previous technique, the longest hash key is 512 bits and that by using SHA-512 algorithm. And as we know, the longer the hash key is, the lower the collision rate, which is a very important point because of a file that does not already exist may not be stored in the cloud.

6. Conclusion

The multi-indexing process plays a crucial role in deduplication as it helps reduce the time complexity and collision rate. By using multi-indexes, the number of comparisons required for searching hash keys is decreased, leading to faster search speed. The indexing process with multi-indexes improves the overall efficiency of the deduplication process. It saves time and computational

resources, making the deduplication system more effective in identifying and handling duplicate data. Selecting hash algorithm to compute the hash value of files is also important for effective deduplication. Longer hash keys are generally preferred as they reduce the chances of collisions, where two different files produce the same hash value.

In our paper, we introduced a technique based on multi-indexes, specifically utilizing ten indexes based on the decimal system. We also incorporated the FNV algorithm to minimize collisions. As part of our future work, we plan to expand the index system by incorporating additional multiple indexes based on file metadata. This expansion will enhance the efficiency and accuracy of the deduplication process.

7. References

- [1] I. A. T. Hashem, I. Yaqoob, N. B. Anuar, S. Mokhtar, A. Gani, S. U. Khan, "The rise of "big data" on cloud computing: Review and open research issue", Information Systems 47, 2015, pp. 98–115, pp. 98–115.
- [2] B. Sc. Blend Berisha, B. Sc. Endrit Meziu, "Big Data Analytics in Cloud Computing: An overview", n at: A seminar paper in the subject "Cloud Computing", Department of Computer Engineering, University of Prishtina, 2021. P. 7.
- [3] M. Muniswamaiah, T. Agerwala, C. Tappert, "BIG DATA IN CLOUD COMPUTING REVIEW AND OPPORTUNITIES", International Journal of Computer Science & Information Technology (IJCSIT), Vol. 11, No. 4, 2019, pp. 43–57.
- [4] N. Sharma, A. V. Krishna Prasad, V. Kakulapati, "Data Deduplication Techniques for Big Data Storage Systems", International Journal of Innovative Technology and Exploring Engineering (IJITEE), ISSN: 2278–3075, Volume–8 Issue–10, 2019, pp. 1145–1150.

[5] Bhavesh R. Bihade, Aditi D. Ghumare, Swati S. Shinde, Kiran K. Nagare, "Deduplication of Cloud", International Journal of Research in Engineering, Science and Management, Vol. 4, Issue 5, 2021, pp. 113–116.

[6] G. Sujatha, Dr. Jeberson Retna Raj, "Improving the Efficiency of Deduplication Process by Dedicated Hash Table for each Digital Data Type in Cloud Storage System", Webology, Volume 18, Special Issue on Artificial Intelligence in Cloud Computing, 2021, pp. 288–301.

[7] V. Schmitt, J. Jordaan, "Establishing the Validity of Md5 and Sha-1 Hashing in Digital Forensic Practice in Light of Recent Research Demonstrating Cryptographic Weaknesses in these Algorithms", International Journal of Computer Applications, Volume 68– No.23, 2013, pp. 40–43.

[8] K. E. Narayana. Dr. K. Jayashree, "Systematic Review of Data Deduplication in Cloud Storage and its Challenges", JOURNAL OF ALGEBRAIC STATISTICS Volume. 13, No. 3, 2022, pp. 5382–5393.

[9] N. Kaaniche, M. Laurent, “A Secure Client Side Deduplication Scheme in Cloud Storage Environments”, International Conference on New Technologies, Mobility and Security NTMS, 2014, P. 8.

[10] A. S. Aruna, K. Deepthi, “Cloud Storage Data Deduplication with Encryption”, International Journal of Advanced Research in Computer Science, Volume 8, No. 1, 2017, pp. 89–92.

[11] M. Zaryekar, S. Ashtekar, A. Chintawar, “A Secure Data Deduplication for Multi–User Cloud Storage”, IOSR Journal of Engineering (IOSRJEN) , 4 th International Conference On Engineering Confluence & Inauguration of Lotfi Zadeh Center of Excellence in Health Science And Technology, 2018, pp. 12–15.

[12] Qinlu HE, Genqing BIAN, Bilin SHAO, Weiqi ZHANG, “Data Deduplication Technology for Cloud Storage”, Technical Gazette 27, 5, 2020, pp. 1444–1451.

[13] N. Sharma, Dr. A. V Krishna Prasad, “File–level Deduplication by using text files – Hive integration”,

International Conference on Computer Communication and Informatics (ICCCI –2021), 2021, P. 6.

[14] In 2022, B. Thakkar, Dr. B. Thankachan, “A Data Deduplication Approach for Eliminating Duplicate File Upload over Cloud”, International Journal of Enhanced Research in Science, Technology & Engineering, Vol. 11 Issue 2, 2022. pp. 13–17.

[15] G. Fowler, L. Noll, K. Vo, Fowler–Noll–Vo hash function – Wikipedia, 2023.

مقارنة أداء النفاذ المتعدد المتعامد OMA وغير المتعامد PD-NOMA في الوصلة الصاعدة بتطبيق خوارزميات SIC لتخصيص الاستطاعة

الاسم : محمد حليبه

الجامعة : جامعة البعث

الكلية : كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية

الصفة العلمية : مهندس قسم هندسة الإلكترونيات والاتصالات

ملخص:

شهدت السنوات الأخيرة تطوراً متسارعاً لأنظمة الاتصالات الخلوية ابتداءً من الجيل الأول حتى الجيل الخامس حالياً، ويعود السبب لهذا التطور لتزايد الطلب بشكل كبير على هذه الأنظمة وظهور تطبيقات انترنت الأشياء IOT التي تحتاج لتوفير اتصالات واسعة النطاق للآلات والأشياء، فكان لابد من تطوير جيل جديد يحقق اتصال عالي السرعة وتأخير معدوم تقريباً، مثل تخفيض التأخير لأقل من 1ms وزيادة حجم المعطيات بمقدار من 10 إلى مئة ضعف مما هي عليه في الجيل الرابع، وتوفير استهلاك الطاقة وإطالة عمر البطارية للطرفيات المتصلة بالشبكة.

يتم التركيز في هذا البحث على عمل الوصلة الصاعدة بالاعتماد على الوصول المتعدد غير المتعامد في مجال الاستطاعة PD-NOMA من خلال استخدام خوارزميات إلغاء التداخل المتتالي SIC اعتماداً على حالة Imperfect SIC إلغاء التداخل المتتالي غير التام من أجل إجراء مقارنة لأداء النظام في حالة النفاذ المتعدد PD-NOMA وفي حالة استخدام النفاذ المتعدد OMA.

مقارنة أداء النفاذ المتعدد المتعامد OMA وغير المتعامد PD-NOMA في الوصلة الصاعدة
بتطبيق خوارزميات SIC لتخصيص الاستطاعة

يتم قياس أداء النظام عن طريق احتمال الانقطاع، واستطاعة الإرسال الأعظمية اللازمة، ومجموع استطاعات الإرسال، ومتوسط استطاعات الإرسال، وعدد المستخدمين المتبقين لكلا النفاذين (PD-NOMA) و (OMA).

بينت نتائج المقارنة المقدمة في هذا البحث أثر مستقبل حذف التداخل المتتالي SIC غير التام في تخفيض أداء معدل نقل المعطيات في الوصلة الصاعدة مقارنةً مع استخدام مستقبل حذف التداخل المتتالي SIC التام للنفاذ المتعدد غير المتعامد في مجال الاستطاعة والنفاذ المتعدد المتعامد. إن النتائج الموضحة في هذه الدراسة تظهر الحالة الواقعية والعملية لأداء النظام من ناحية استخدام البارامترات اللازمة (معدل النقل المطلوب-الاستطاعة الأعظمية المتاحة-معامل إلغاء التداخل) لتحقيق توفير في استطاعة الإرسال تبعاً لظروف القناة المحددة مسبقاً لتحديد الفروقات والتحسينات التي يقدمها PD-NOMA مقارنة مع OMA.

الكلمات المفتاحية: النفاذ المتعدد المتعامد، النفاذ المتعدد غير المتعامد، النفاذ المتعدد غير المتعامد في مجال الاستطاعة، حذف التداخل المتتالي، كاشف الخطأ الواسطي التريبيعي الأدنى، احتمال الانقطاع.

Comparison of performance of orthogonal multiple access (OMA) and power domain non-orthogonal multiple access (PD-NOMA) in the uplink by applying SIC algorithms for power allocation.

Abstract:

Recent years have witnessed an accelerated development of cellular communications systems, starting from the first generation to the current fifth generation. The reason for this development is due to the greatly increased demand for these systems and the emergence of Internet of Things (IOT) applications that need to provide wide-ranging communications for machines and things. Therefore, it was necessary to develop a new generation that achieves high speed and almost zero delay communication, such as reducing the delay to less than 1ms and increasing the data size by 10 to 100 times what it is in the fourth generation, saving energy consumption and prolonging the battery life of the terminals connected to the network.

System performance is measured by the outage probability, the maximum transmission power required, the total transmission powers, the average transmission powers, and the number of remaining users for both systems (NOMA) and (OMA).

The comparison results presented in this research showed the effect of the imperfect SIC receiver in reducing the performance of the data transfer rate in the uplink compared to the use of the perfect SIC receiver for power domain non-orthogonal multiple access and orthogonal multiple access. The results shown in this study show the realistic and practical state of the system's performance in terms of using the necessary parameters (required transmission rate - maximum available power - interference cancellation factor) to achieve savings in transmission power depending on the pre-determined channel conditions to determine the differences and improvements offered by PD-NOMA compared to OMA.

Keywords: orthogonal multiple access, non-orthogonal multiple access, power domain non-orthogonal multiple access, successive interference cancellation, minimum mean square error, outage probability.

1- مقدمة:

تُعدُّ تقنيات النفاذ المتعدد (MA) *Multiple Access* جزءاً أساسياً من أنظمة الاتصالات الخلوية في مختلف الأجيال، حيث تسمح هذه التقنيات لعدد من المستخدمين بتشارك الموارد الراديوية بشكل متعامد (OMA) *Orthogonal Multiple access* أو غير متعامد (NOMA) *Non-Orthogonal Multiple access*.

وتم استخدام تقنيات OMA في الجيل الرابع وما قبله للأنظمة الخلوية بشكل فعال بما يتناسب مع المتطلبات الطارئة في كل مرحلة من خلال تقسيم الموارد الزمنية و/أو الترددية بشكل متعامد ما يؤدي إلى عدّ التداخل بين المستخدمين معدوماً نظرياً، بينما يُعدُّ النفاذ المتعدد غير المتعامد NOMA من التقنيات الواعدة لتحسين الفاعلية الطيفية واستهلاك الطاقة في الجيل الخامس وما بعده، وذلك من خلال السماح لعدة مستخدمين بالإرسال على المورد الزمني أو الترددي نفسه بطريقة غير متعامدة [16].

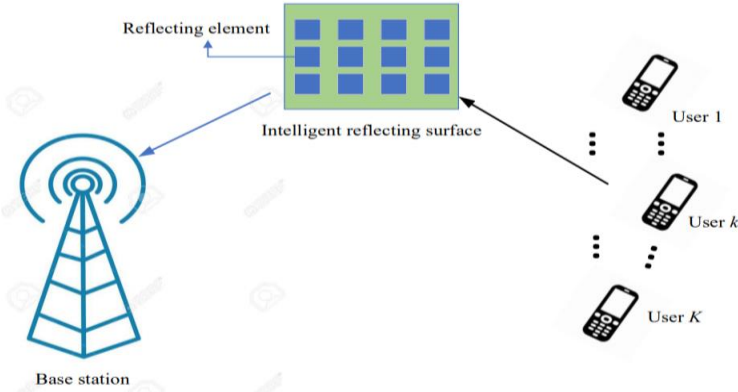
رغم الميزات التي تحقّقها NOMA فإنها تواجه بعض التحديات التي ماتزال قيد الدراسة ومنها التخصيص الأفضل لاستطاعات الإرسال بهدف تخفيف تعقيد المستقبل وزيادة الفاعلية الطيفية وفاعلية الطاقة والذي يحتاج إلى معرفة دقيقة لبرح القناة، إضافةً إلى الاعتبارات العملية والواقعية لتصميم المستقبل كانتشار الأخطاء وحذف التداخل غير التام [5].

يُركز البحث على استخدام النفاذ المتعدد غير المتعامد ضمن مجال الاستطاعة power domain NOMA لنقل المعطيات في الوصلة الصاعدة وتخصيص استطاعات الإرسال باستخدام خوارزميات إلغاء التداخل المتتالي SIC مع الأخذ بعين الاعتبار حالة إلغاء التداخل المتتالي غير التام كحالة واقعية من أجل مقارنة أداء النظام في حال استخدام كل من النفاذ المتعدد PD-NOMA والنفاذ المتعدد OMA.

2- الدراسات السابقة:

• في [11]:

□ استخدم الباحثون نموذج للنظام مفترضين وجود سطح عاكس ذكي IRS كوسيط بين المستخدمين والمحطة القاعدية في الوصلة الصاعدة وبينت الدراسة تفوق NOMA على OMA من ناحية تحقيق مجموع معدل نقل sum rate معطيات للمستخدمين من خلال التصميم الأمثل المشترك للتحكم باستطاعة إرسال كل مستخدم وتشكيل حزمة السطح العاكس .

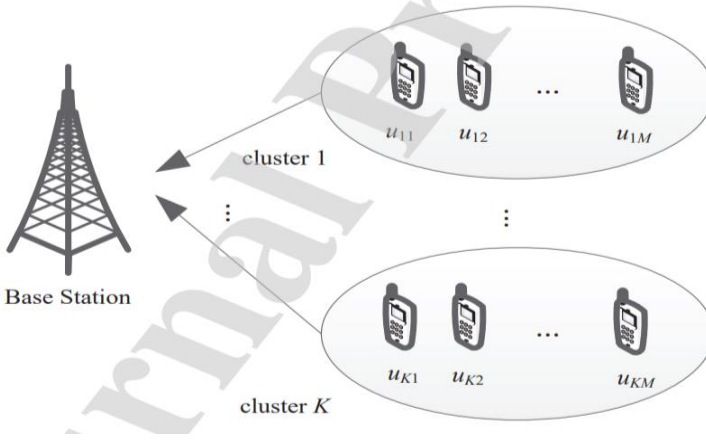


• في [12]:

□ تم استخدام التعلم المعزز العميق (DRL) deep reinforcement learning لإيجاد حل مسألة تخصيص الاستطاعة وتعيين القناة الجزئية بشكل مشترك باستخدام النفاذ NOMA في إرسال الوصلة الصاعدة لتحقيق فعالية طاقة energy efficiency عالية كما أثبتته النتائج وحقت الطريقة المقترحة توفير في استهلاك الطاقة إضافةً إلى تخفيض الزمن الحسابي.

• في [13]:

□ بين الباحثون طريقة لزيادة المقايضة بين الفعالية الطيفية وفعالية الطاقة في إرسال الوصلة الصاعدة باستخدام NOMA ضمن قيد معدل النقل الأصغر المطلوب وميزانية الاستطاعة المتاحة لكل مستخدم، حيث تم توزيع المستخدمين ضمن عنقيد cluster.



من الدراسات السابقة والتي تم فيها اعتماد الارسال في الوصلة الصاعدة يلاحظ تفوق النفاذ المتعدد الغير متعامد NOMA على النفاذ المتعدد المتعامد OMA من إمكانية الحصول على معدلات نقل أعلى وإمكانية تحقيق فعالية طاقة أعلى لتحقيق توفير في استهلاك الاستطاعة من خلال النماذج المفترضة لكل دراسة على حدى مع إمكانية التحكم باستطاعات الارسال لتحقيق الأهداف المرجوة من كل دراسة.

تم في هذا البحث التركيز على تأثير الغاء التداخل المتتالي التام في عملية كشف الإشارة المستقبلية والمجمعة لدى المحطة القاعدية من جميع المرسلين والذي يعتبر حالة مثالية وغير واقعية حيث يفترض وجود خطأ متبقي في كشف إشارات المستخدمين لدى المحطة القاعدية والذي من المحتمل ان ينتشر اثناء الكشف التعاوني لباقي الإشارات مما يسبب في انتشار الخطأ error propagation لذلك تمت الدراسة مع الأخذ بعين الاعتبار

وجود نسبة هذا الخطأ والممثل بالمعامل β ومن ثم تطبيق خوارزميات SIC لتخصيص استطاعات المرسلين ضمن البارامترات المفترضة للنظام وتطبيق هذه الدراسة باستخدام النفاذ المتعدد الغير متعامد PD-NOMA و النفاذ المتعدد المتعامد OMA لإجراء المقارنة بينهما من ناحية تحقيق معدلات نقل أعلى ضمن قيود الاستطاعة المتاحة أو من ناحية تحقيق توفير في استهلاك الاستطاعة ضمن قيود معدلات النقل أو الكفاءة الطيفية المطلوبة.

تُصنف تقنيات NOMA إلى قسمين أساسيين: النفاذ المتعدد غير المتعامد في مجال الاستطاعة Power domain NOMA، والنفاذ المتعدد غير المتعامد في مجال الترميز Code domain NOMA.

3- هدف البحث:

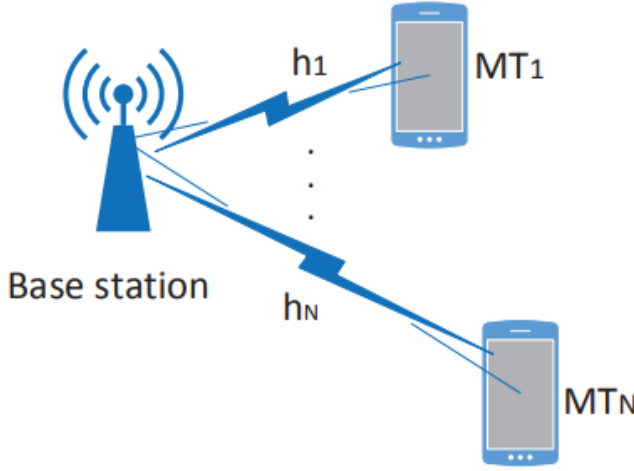
درست بعض الأبحاث السابقة إمكانية استخدام النفاذ المتعدد غير المتعامد NOMA في مجال الاستطاعة من أجل الوصلة الهابطة والصاعدة لتخفيض استطاعة الإرسال الكلية المتاحة ضمن متطلبات جودة الخدمة بهدف توفير استهلاك الطاقة. في الوصلة الصاعدة تُشكل البطارية في أجهزة الإرسال المصدر الأساسي للطاقة والتي يُستخدم جزء منها في عمليات إرسال المعطيات إلى المحطة، لذلك يُعدّ إطالة عمر البطارية والمحافظة على الطاقة لفترات طويلة من المتطلبات الأساسية خاصةً مع تواجد هذه

الأجهزة لفترات طويلة (عدة سنوات) في أماكن يصعب الوصول إليها أو ذات موارد طاقة محدودة. يهدف هذا البحث إلى دراسة وتحسين استهلاك الطاقة في إرسال الوصلة الصاعدة المعتمد على النفاذ المتعدد غير المتعامد NOMA في مجال الاستطاعة وذلك من خلال التخصيص الأمثل لإستطاعات الإرسال بالاعتماد على خوارزميات SIC ضمن قيود استطاعة الإرسال الأعظمية المتاحة للأجهزة ومتطلبات جودة الخدمة لكل مستخدم، ومقارنة أداء النفاذ المتعدد غير المتعامد NOMA في مجال الاستطاعة مع النفاذ المتعدد المتعامد OMA.

4- موارد وطرائق البحث:

4-1 نموذج النظام

لنفرض الشبكة الخلوية المبينة في الشكل (1) والمؤلفة من محطة قاعدية واحدة BS في مركز دائرة يتوزع ضمنها N مستخدم بشكل منتظم، ويتشاركون الحزمة الترددية الكلية المخصصة للمحطة في إرسال الوصلة الصاعدة باستخدام النفاذ المتعدد غير المتعامد في مجال الاستطاعة PD NOMA أو باستخدام النفاذ المتعدد المتعامد OMA .



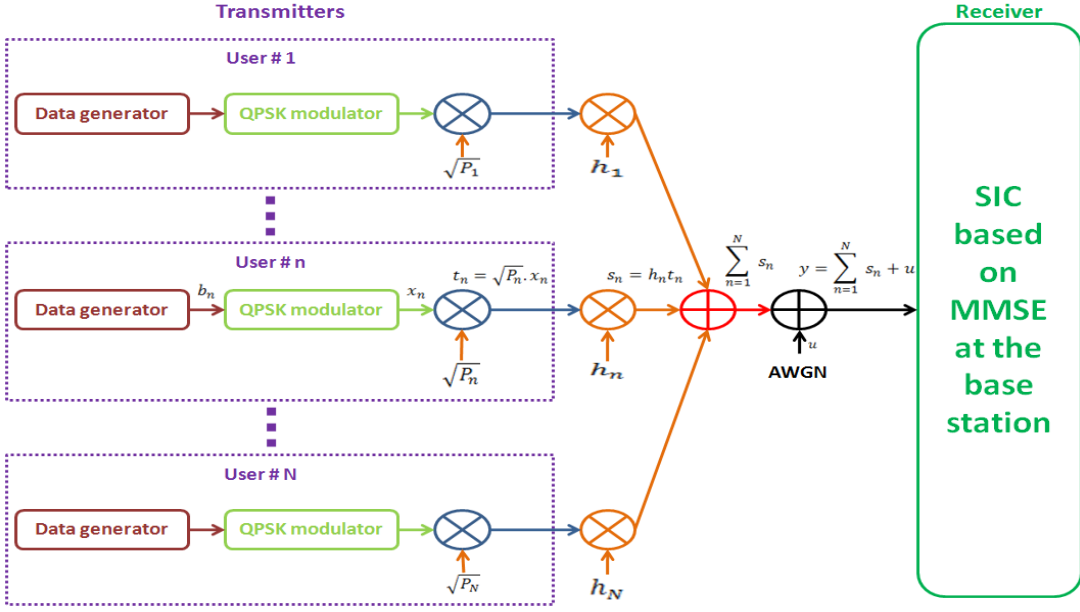
الشكل (1) نموذج الوصلة الصاعدة.

يمثل الشكل (2) نموذج نظام النفاذ المتعدد غير المتعامد في مجال الاستطاعة PD NOMA للوصلة الصاعدة، حيث تُعدل المعطيات الثنائية في مرسل كل مستخدم باستخدام التعديل QPSK ويكون لكل رمز معدل استطاعة واحدية أي $E\{|x_n|^2\} = 1, \forall n = 1, 2, \dots, N$ حيث x_n الرمز المعدل للمستخدم n و $E\{\cdot\}$ التوقع الرياضي. إن تطبيق PD NOMA يعني رفع استطاعة إشارة الرمز المعدل x_n من 1 إلى الاستطاعة المخصصة له P_n وذلك يتم من خلال جداء الرمز المعدل بهذه الاستطاعة. وبالتالي تُكتب الإشارة المرسله t_n من المستخدم n كما يلي: [12],[13]

$$t_n = \sqrt{P_n} \cdot x_n$$

(1)

حيث x_n الرمز المعدل و P_n الاستطاعة المخصصة للمستخدم n .



الشكل (2) نموذج نظام النفاذ المتعدد غير المتعامد في مجال الاستطاعة PD NOMA للوصلة الصاعدة.

2-4 تحليل نسبة الإشارة للتداخل والضجيج

يستخدم مستقبل المحطة القاعدية حذف التداخل المتتالي SIC بدءاً من إشارة المستخدم الأول رقم 1 على اعتبار أن ربح قنواته هو الأعلى وانتهاءً بالمستخدم N ، وتُكتب نسبة الإشارة للتداخل والضجيج $SINR_n$ للمستخدم n كما يلي: [14]

$$SINR_n = \frac{P_n |h_n|^2}{\sum_{i=1}^{n-1} \beta_i P_i |h_i|^2 + \sum_{i=n+1}^N P_j |h_j|^2 + \sigma^2}$$

$$= \frac{P_n |h_n|^2}{I_p + I_r + \sigma^2} \quad (2)$$

حيث P_n استطاعة الإشارة المرسله للمستخدم n ، $|h_n|^2$ ربح قناة المستخدم n ، σ^2 استطاعة الضجيج، $|h_j|^2$ ربح قناة المستخدم j حيث $n < j \leq N$ (المستخدمين المتبقين والتي لم تكشف إشاراتهم بعد)، $|h_i|^2$ ربح قناة المستخدم i حيث $1 \leq i < n$ (المستخدمين المقدره معطياتهم قبل المستخدم n)، $I_r = \sum_{i=n+1}^N P_j |h_j|^2$ التداخل الناتج عن الإشارات التي لم تكشف بعد (التي تكون قنواتها أضعف بحيث يكون نسبة الإشارة للتداخل والضجيج أقل من المستخدم n)، $I_p = \sum_{i=1}^{n-1} \beta_i P_i |h_i|^2$ التداخل الناتج عن الإشارات التي تم كشفها مسبقاً (التي تكون قنواتها أقوى بحيث يكون نسبة الإشارة للتداخل والضجيج أكبر من المستخدم n) حيث β_i معامل حذف التداخل SIC factor ويُعبر عن نسبة الإشارة المتبقية في كل مرحلة حذف تداخل حيث $0 \leq \beta_i \leq 1$ ، ويفرض أن هذه النسبة متساوية في كل مرحلة أي معامل حذف التداخل $I_p = \beta \sum_{i=1}^{n-1} P_i |h_i|^2$ ويكون $\beta_i = \beta, \forall i \in \{1, 2, \dots, N\}$ في حالة مستقبل حذف تداخل متتالي تام أي:

$$I_p = \begin{cases} 0, \beta = 0 & \rightarrow \text{Perfect SIC} \\ \beta \sum_{i=1}^{n-1} P_i |h_i|^2, 0 < \beta \leq 1 & \rightarrow \text{Imperfect SIC} \end{cases} \quad (3)$$

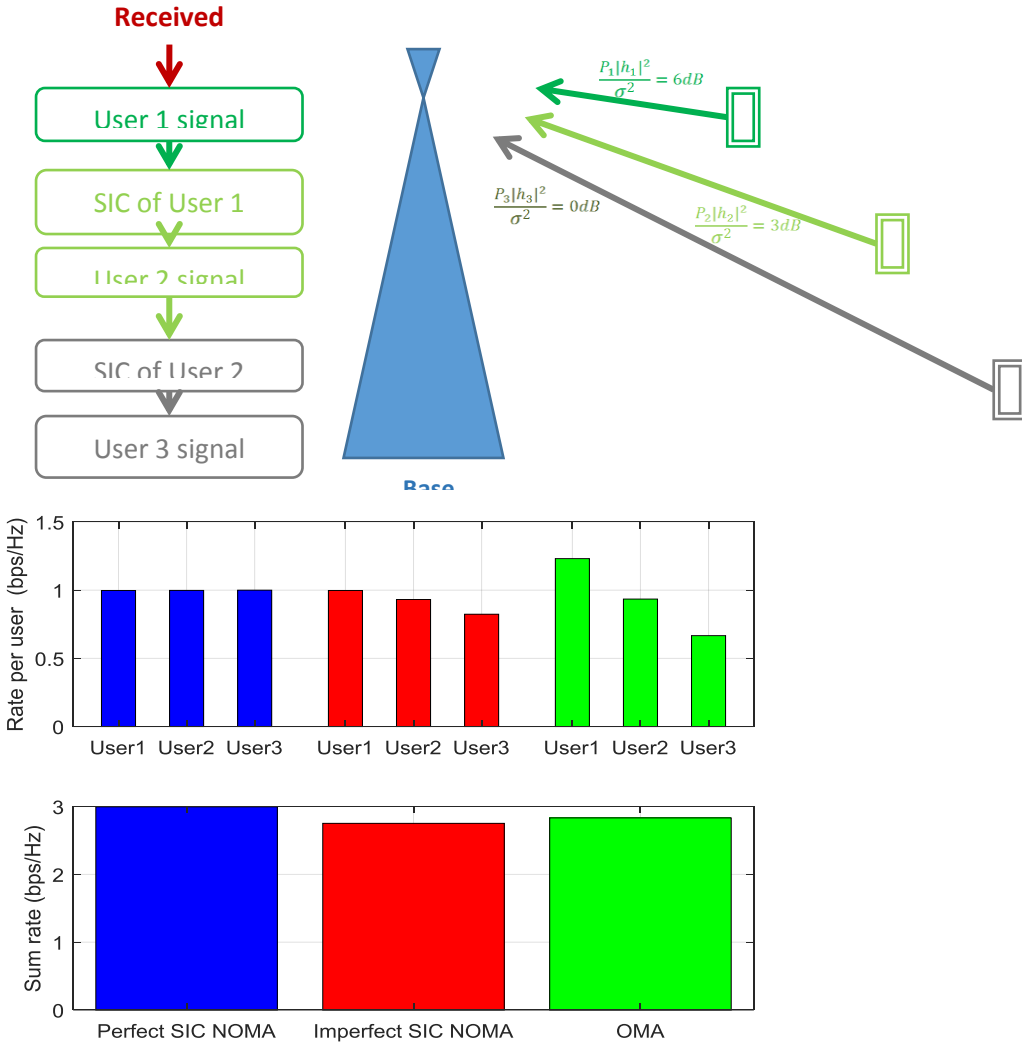
وفقاً للعلاقة (5) فإن نسبة الإشارة للتداخل والضجيج تعتمد على الاستطاعة المخصصة ومعامل القناة لكل مستخدم. وتؤثر هذه النسبة بأداء معدل النقل R_n لكل مستخدم وفقاً للعلاقة التالية: [15]

$$R_n = \log_2(1 + SINR_n) \quad (4)$$

حيث R_n مقدرة بالوحدة (bps/Hz) ، و $SINR_n$ نسبة الإشارة للتداخل والضجيج للمستخدم n المبينة في العلاقة (2).

تبين العلاقات (2) و (4) أن اعتبار مستقبل حذف تداخل متتالي تام $\beta = 0$ ، يؤدي إلى رفع نسبة الإشارة للتداخل والضجيج مقارنةً مع حذف تداخل متتالي تام $\beta \neq 0$ ، وهذا بدوره يؤدي إلى زيادة معدل النقل لكل مستخدم وحتى سعة النظام الكلية وهذا موضح في المثال العددي في الشكل (3) حيث ثلاثة مستخدمين للوصلة الصاعدة باستخدام PD NOMA وينسب إشارة للضجيج مختلفة ومعدلات نقل كما يلي: [20]

$$\left\{ \begin{array}{l} SNR_1 = \frac{P_1|h_1|^2}{\sigma^2} = 6\text{dB} \\ SNR_2 = \frac{P_2|h_2|^2}{\sigma^2} = 3\text{dB} \\ SNR_3 = \frac{P_3|h_3|^2}{\sigma^2} = 0\text{dB} \end{array} \right\} \begin{array}{l} \xrightarrow{\beta=0} \\ \xrightarrow{\beta=0.05} \end{array} \left\{ \begin{array}{l} R_1 = \log_2 \left(1 + \frac{SNR_1}{SNR_2 + SNR_3 + 1} \right) \\ R_2 = \log_2 \left(1 + \frac{SNR_2}{SNR_3 + 1} \right) \\ R_3 = \log_2(1 + SNR_3) \\ R_1 = \log_2 \left(1 + \frac{SNR_1}{SNR_2 + SNR_3 + 1} \right) \\ R_2 = \log_2 \left(1 + \frac{SNR_2}{\beta \cdot SNR_1 + SNR_3 + 1} \right) \\ R_3 = \log_2 \left(1 + \frac{SNR_3}{\beta \cdot SNR_1 + \beta \cdot SNR_2 + 1} \right) \end{array} \right.$$



الشكل (3) مقارنة عددية لسعة PD NOMA بمستقبلين SIC تام وغير تام وسعة

.OMA

يؤثر استخدام مستقبل SIC غير تام على معدل إرسال كل من المستخدم الثاني والثالث وينخفض معدل النقل لكل منهما والمجموع الكلي لمعدلات النقل إضافةً لعدالة معدل نقل المعطيات بين المستخدمين مقارنةً مع مستقبل SIC التام الذي يُحقق أداءً عدالةً وسعةً أفضل من OMA كما هو مبين في الشكل (3)، حيث تم اعتبار نظام OMA بتقسيم الحزمة الترددية بشكل متساوي بين المستخدمين الثلاث ومعدلات النقل كما يلي:

$$\left\{ \begin{array}{l} SNR_1 = \frac{P_1|h_1|^2}{\sigma^2} = 6\text{dB} \\ SNR_2 = \frac{P_2|h_2|^2}{\sigma^2} = 3\text{dB} \\ SNR_3 = \frac{P_3|h_3|^2}{\sigma^2} = 0\text{dB} \end{array} \right\} \xrightarrow{OMA} \left\{ \begin{array}{l} R_1 = \frac{1}{3} \log_2(1 + 3 \cdot SNR_1) \\ R_2 = \frac{1}{3} \log_2(1 + 3 \cdot SNR_2) \\ R_3 = \frac{1}{3} \log_2(1 + 3 \cdot SNR_3) \end{array} \right.$$

من جهةٍ ثانيةٍ يتفوق أداء السعة باستخدام OMA على السعة المحققة في PD NOMA عند استخدام مستقبل SIC غير تام الحالة العملية والأكثر واقعية حيث لا يمكن في الأنظمة العملية حذف التداخل بين إشارات المستخدمين بشكل تام فعادةً ما يكون هناك احتمال للخطأ في كشف وتقدير المعطيات في المراحل السابقة حتى لو بقيمة صغيرة وهذا يؤدي إلى عدم بناء الإشارة بشكل كامل وبالتالي تشوه في الإشارة الناتجة عن حذف التداخل.

3-4 احتمال الانقطاع

يحدث الانقطاع للمستخدم n في نظام الوصلة الصاعدة للنفاذ المتعدد غير المتعامد في مجال الاستطاعة مع مستقبل حذف تداخل متتالي [11]، عندما لا يتحقق معدل النقل المطلوب R_{min} لكل المستخدمين i حيث $1 \leq i \leq n$ ، أي يحدث الانقطاع للمستخدم n عندما يكون $R_i < R_{min}$. ويُعطى outage probability احتمال الانقطاع OP_n لمستخدم n كما يلي:

$$OP_n = \sum_{i=1}^n Pr(R_i < R_{min}), \forall n \in \{1, 2, \dots, N\}, \quad (5)$$

حيث R_{min} معدل النقل المطلوب لكل مستخدم، و R_i معدل النقل الممكن تحقيقه في النظام للمستخدم i والمبين في العلاقة (4). يُكافئ احتمال الانقطاع المبين في العلاقة (5) العلاقة التالية:

$$OP_n = \sum_{i=1}^n Pr(SINR_i < SINR_{min}) \quad (6)$$

حيث $SINR_i$ نسبة الإشارة للتداخل والضجيج للمستخدم i والمبين في العلاقة (2)، و $SINR_{min}$ عتبة محددة لنسبة الإشارة للتداخل والضجيج حيث $SINR_{min} = 2^{R_{min}} - 1$ معدل النقل المطلوب لكل مستخدم.

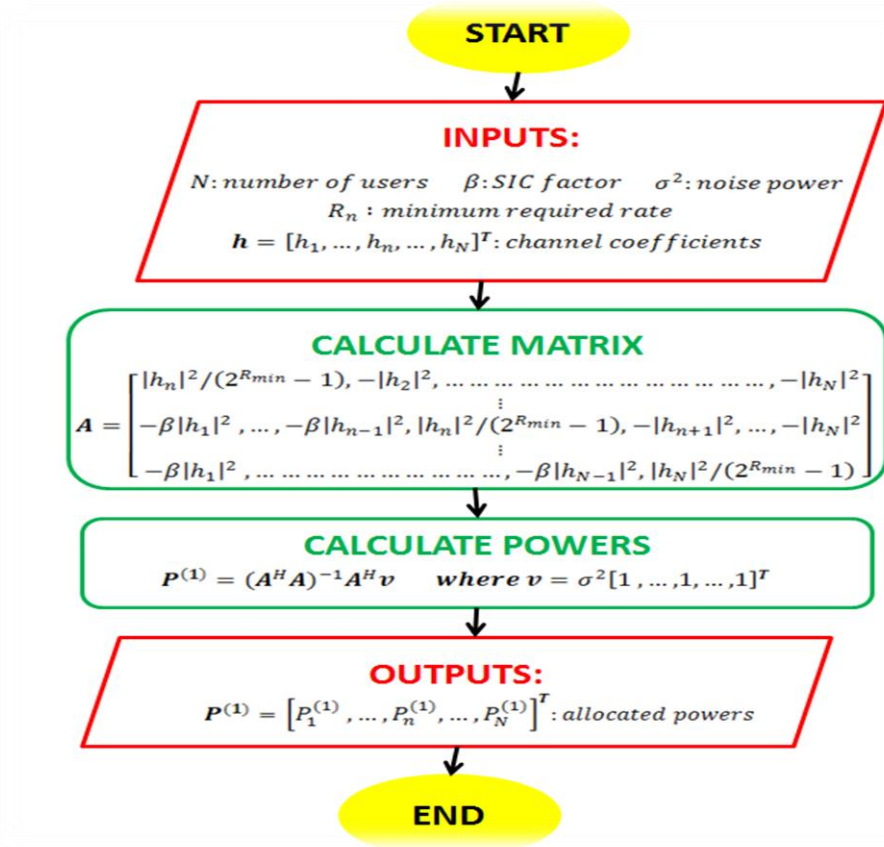
4-4 خوارزميات SIC لتخصيص الاستطاعة في PD NOMA

تم اعتماد الخوارزميات المقترحة في [16] لتخصيص الاستطاعة وتطبيقها على النظام في حال استخدام كل من النفاذ المتعدد المتعامد OMA والنفاذ المتعدد غير المتعامد في مجال الاستطاعة PD-NOMA.

□ الخوارزمية الأولى لتخصيص الاستطاعة: يبين الشكل (4) المخطط التدفقي

للخوارزمية الأولى لتخصيص استطاعات الإرسال التي يتحقق عندها معدل النقل المطلوب لكل مستخدم، حيث معاملات الدخل المطلوبة: N عدد

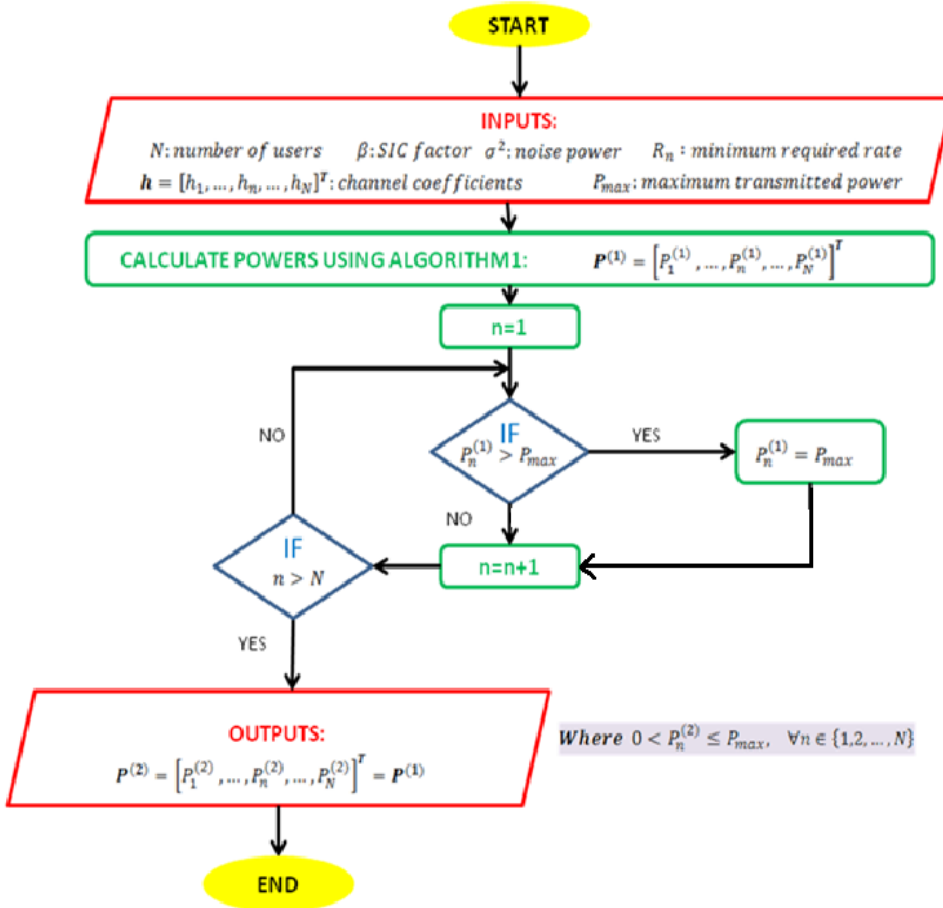
المستخدمين، σ^2 استطاعة الضجيج، β معامل حذف التداخل SIC factor،
 R_{min} معدل النقل المطلوب، $\mathbf{h} = [h_1, \dots, h_n, \dots, h_N]^T$ معاملات
القنوات. أما الخرج فهو قيم الاستطاعة اللازمة للحصول على معدل النقل
المطلوب.



الشكل (4) المخطط التدفقي للخوارزمية الأولى لتخصيص الاستطاعة.

□ الخوارزمية الثانية لتخصيص الاستطاعة: تعتمد الخوارزمية الثانية المبينة

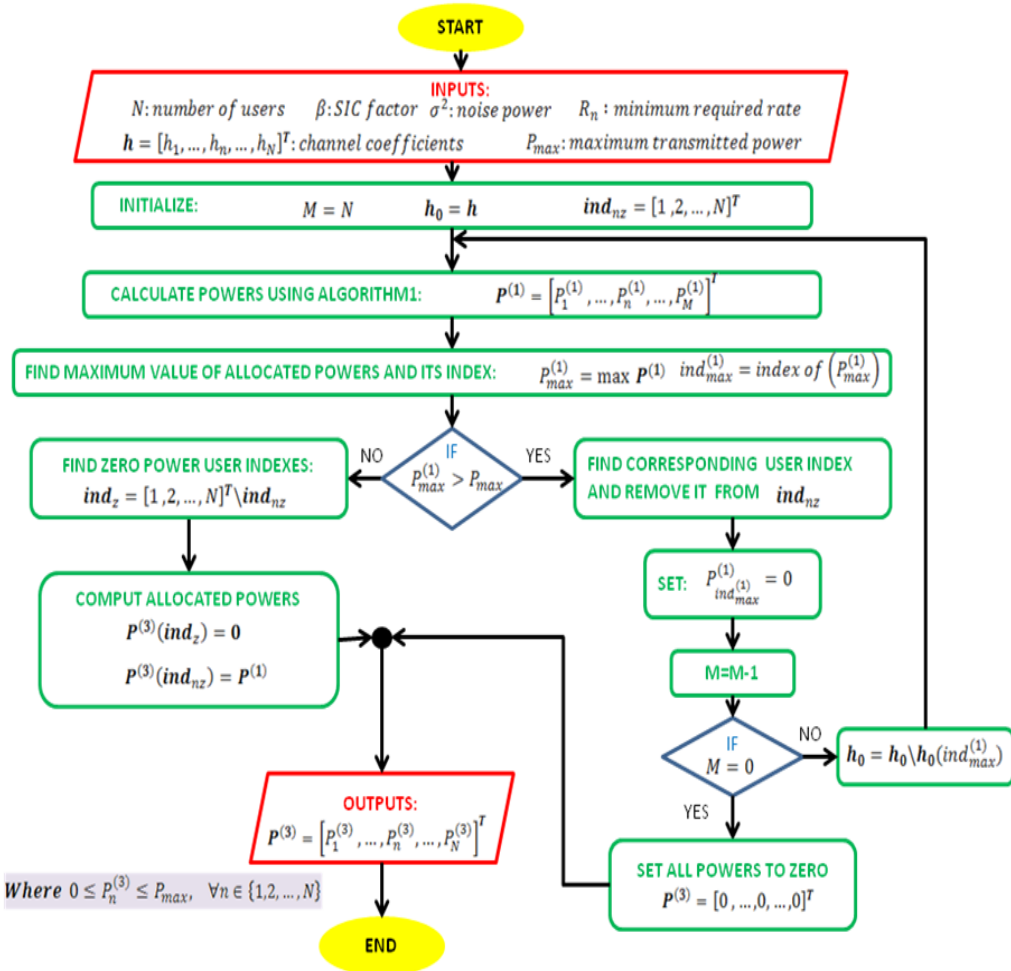
في الشكل (5) على الاستطاعات المحسوبة في الخوارزمية الأولى وتتطلب دخلاً إضافياً هو الاستطاعة الأعظمية المتاحة في أجهزة الإرسال P_{max} ، حيث تقوم الخوارزمية الأولى بحساب الاستطاعات $P_n^{(1)}$ ومن ثم يتم تحديد كل استطاعة $P_n^{(1)}$ بالاستطاعة الأعظمية P_{max} في حال تجاوزتها.



الشكل (5) المخطط التدفقي للخوارزمية الثانية لتخصيص الاستطاعة.

□ الخوارزمية الثالثة لتخصيص الاستطاعة: رأينا أن احتمال الانقطاع يمكن

أن يكون غير معدوم في الخوارزمية الثانية لتخصيص الاستطاعة من أجل قيود لاستطاعة الإرسال في الأجهزة، وهذا يعني أنه في بعض فترات الإرسال الزمنية سترسل بعض الأجهزة إشاراتها بحيث لا يتحقق معدل النقل المطلوب ويجب إعادة الإرسال في فترات لاحقة وبالتالي استهلاك استطاعة أكبر. لذلك تم بناء الخوارزمية الثالثة التكرارية لتخصيص الاستطاعة المبينة في الشكل (6).



الشكل (6) المخطط التدفقي للخوارزمية الثالثة لتخصيص الاستطاعة.

تسعى الخوارزميات الثلاث إلى إيجاد الاستطاعات المناسبة لكل منها وبما أن ربح قناة كل مستخدم واستطاعة الضجيج عند المحطة معلومة لدى المحطة والمستخدمين، فإنه يمكن اعتبار نسبة الإشارة للتداخل والضجيج المبينة في العلاقة (2) كتابع لقيم الاستطاعات المخصصة P والتي يتم حسابها بهذه الخوارزميات، وبالتالي اعتبار معدلات النقل المبينة في العلاقة (4) كتابع لقيم الاستطاعات المخصصة P كما يلي:

$$R_n(P) = \log_2(1 + SINR_n(P)) \quad (7)$$

حيث $P = [P_1, \dots, P_n, \dots, P_N]^T$ و P_n استطاعة إرسال المستخدم n .

تم استخدام خوارزميات تخصيص الاستطاعة المعتمدة في المرجع [16] لكلا النظامين OMA و NOMA في الوصلة الصاعدة لإجراء مقارنات ضمن معايير مختلفة.

4-5 تخصيص الاستطاعة في OMA

لنفرض أن مستخدم الوصلة الصاعدة المبينة في الشكل (1) يستخدمون تقنية نفاذ متعدد متعامد OMA بحيث تُقسم الحزمة الترددية المخصصة للوصلة الصاعدة إلى N قناة ترددية متساوية في عرض الحزمة وتُخصص كلاً منها لمستخدم واحد. وبسبب وجود التعامد فإن التداخل بين إشارات المستخدمين معدوم نظرياً وبالتالي تُعطى نسبة الإشارة للضجيج SNR_n للمستخدم n كما يلي: [15]

$$SNR_n = \frac{P_n^{OMA} |h_n|^2}{\alpha_n \sigma^2}, n = 1, 2, \dots, N \quad (15)$$

حيث P_n^{OMA} استطاعة الإشارة المرسله للمستخدم n ، $|h_n|^2$ ربح قناة المستخدم n ، σ^2 استطاعة الضجيج على كامل الحزمة الترددية، α_n جزء الحزمة الترددية المخصص للمستخدم n حيث يمثل $\alpha_n \sigma^2$ استطاعة الضجيج على الحزمة الترددية الجزئية المخصصة للمستخدم n و $0 < \alpha_n \leq 1$. وبالتالي يكتب معدل نقل المعطيات R_n^{OMA} للمستخدم n كما يلي:

$$R_n^{OMA} = \alpha_n \log_2(1 + SNR_n) \quad (16)$$

حيث SNR_n نسبة الإشارة للضجيج للمستخدم n المبينة في العلاقة (15). تبين العلاقتين (15) و (16) أن معدل النقل يتبع لاستطاعة إرسال المستخدم فقط أي

$$R_n^{OMA}(P_n^{OMA}) = \alpha_n \log_2(1 + SNR_n(P_n^{OMA}))$$

بهدف توفير استهلاك الاستطاعة في أجهزة الإرسال يتم حساب استطاعات الإرسال بشكل مشابه لخوارزميات تخصيص الاستطاعة في النفاذ المتعدد غير المتعامد في مجال الاستطاعة وذلك انطلاقاً من العلاقة (16) حيث بداية يتم حساب الاستطاعات

$$\mathbf{P}_1^{OMA} = \{P_n^{OMA}, n \in \{1, 2, \dots, N\}\}$$

التي تحقق ما يلي:

$$R_n^{OMA}(P_n^{OMA}) = R_{min}, \quad \forall n \in \{1, 2, \dots, N\}, \quad (17)$$

$$\stackrel{(17)}{\implies} SNR_n(P_n^{OMA}) = 2^{R_{min}/\alpha_n} - 1, \quad (18)$$

$$\stackrel{(18)}{\implies} P_n^{OMA} = \frac{\left(2^{\frac{R_{min}}{\alpha_n}} - 1\right) \alpha_n \sigma^2}{|h_n|^2}, \quad n = 1, 2, \dots, N \quad (19)$$

$$\stackrel{(19)}{\implies} \mathbf{P}_1^{OMA} = \left\{ \frac{\left(2^{\frac{R_{min}}{\alpha_n}} - 1\right) \alpha_n \sigma^2}{|h_n|^2}, \quad n \in \{1, 2, \dots, N\} \right\}, \quad (20)$$

إن احتمال الانقطاع في حالة قيم الاستطاعة P_1^{OMA} المبينة في العلاقة (20)، أيضاً معدوم لتتحقق الشرط $R_n^{OMA}(P_n^{OMA}) \geq R_{min}$. وفي الحالة التي تكون فيها استطاعة الإرسال محدودة بالاستطاعة الأعظمية P_{max} فإن الاستطاعات المبينة في العلاقة (20) تُصبح محدودة بها أي أنه يتم تطبيق آلية مشابهة للخوارزمية الثانية في PD NOMA انطلاقاً من قيم الاستطاعات البدائية في (20) لحساب قيم الاستطاعات في هذه الحالة كما يلي:

$$P_n^{OMA} = \begin{cases} P_{max} & \text{if } P_1^{OMA}(n) > P_{max} \\ P_1^{OMA}(n) & \text{if } P_1^{OMA}(n) \leq P_{max} \end{cases} \quad (21)$$

$$P_2^{OMA} = \{P_n^{OMA}, 0 < P_n^{OMA} \leq P_{max}, n \in \{1, 2, \dots, N\}\} \quad (22)$$

حيث P_1^{OMA} قيم الاستطاعات المبينة في العلاقة (20).

أما في حالة تطبيق الخوارزمية الثالثة للنفاز المتعدد المتعامد بشكل مشابه للخوارزمية الثالثة لتخصيص الاستطاعة في PD NOMA المبينة في الشكل (6) فإن الاختلاف فقط في حساب قيم الاستطاعة البدائية حيث يتم استخدام العلاقة (20) لحساب قيم الاستطاعة البدائية P_1^{OMA} . وينتج من هذه الخوارزمية قيم الاستطاعة

$$P_3^{OMA} = \{P_n^{OMA}, 0 \leq P_n^{OMA} \leq P_{max}, n \in \{1, 2, \dots, N\}\}$$

كذلك احتمال الانقطاع في حالات قيم الاستطاعة P_2^{OMA} و P_3^{OMA} يمكن ألا يكون معدوم.

5- المحاكاة ومناقشة النتائج

يستخدم برنامج ماتلاب MATLAB مع المعاملات المبينة في الجدول (1) لتقييم أداء النفاذ المتعدد غير المتعامد في مجال الاستطاعة PD NOMA مع مستقبل حذف التداخل المتتالي SIC التام وغير التام واستخدام خوارزميات تخصيص الاستطاعة، حيث يتم مناقشة النتائج والمقارنة بين أداء المستقبلين في النفاذ المتعدد غير المتعامد في مجال الاستطاعة PD NOMA من حيث استطاعات الإرسال المستهلكة واحتمال الانقطاع مع أداء النفاذ المتعدد المتعامد OMA.

الجدول 1 معاملات المحاكاة في MATLAB

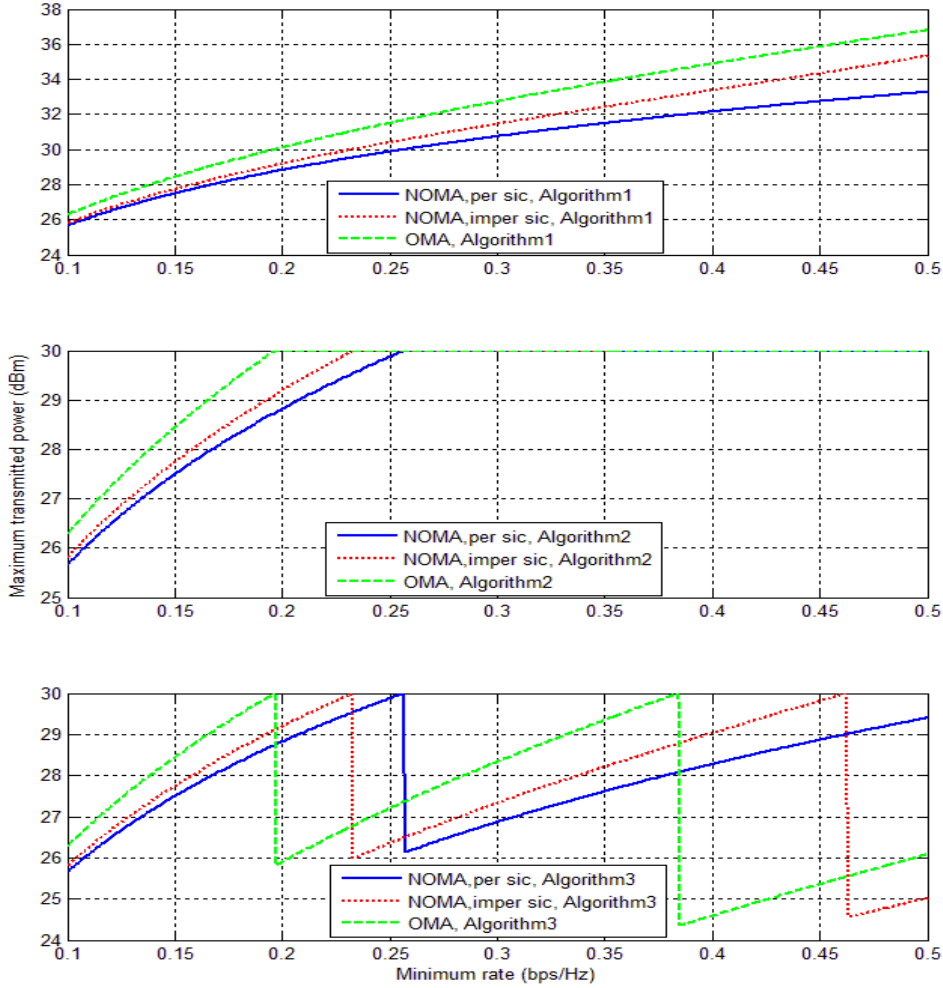
القيم	المعامل
5	عدد المستخدمين: N
"يمكن اختيار أي قيمة لعدد المستخدمين وتم اختياره 5 كافتراض لإجراء المقارنات بين قيم الاستطاعة لهم"	
$[20,25,30,35]dBm$	الاستطاعة الأعظمية للإرسال: P_{max}
$[0.1, \dots, 0.6]bps/Hz$	معدل النقل المطلوب R_{min}
$-114dBm$	استطاعة الضجيج σ^2
$[0, \dots, 0.3]$	معامل حذف التداخل β
$\alpha = 2$	أس فقد المسار
$[1000,2000,3000,4000,5000]m$	البعد بين كل مستخدم والمحطة d_n بافتراضات مسبقاً لكل مستخدم
Rayleigh	الخفوت الضيق مسطح g_n متساوي لجميع المستخدمين
AWGN	الضجيج
QPSK	التعديل
$1/N$	معامل تقسيم الحزمة الترددية في OMA: α_n

مقارنة الأداء للنفاذ المتعدد غير المتعامد في مجال الاستطاعة مع النفاذ المتعدد

المتعامد

- قدم هذا البحث ثلاث خوارزميات لتخصيص الاستطاعة في النفاذ المتعدد غير المتعامد في مجال الاستطاعة بهدف تخفيض استطاعة الإرسال في الوصلة الصاعدة، ومن أجل المقارنة تم تطبيق هذه الخوارزميات في النفاذ المتعدد المتعامد حيث تُقسم الحزمة الترددية بشكل متساوي بين المستخدمين ويُعتبر التداخل بين إشارات المستخدمين معدوماً. عندما يتم المقارنة بين PD NOMA و OMA في الحالة العامة التي لا قيود فيها لاستطاعة الإرسال في الأجهزة والموافقة لتطبيق الخوارزمية الأولى فإن استطاعة الإرسال الأعظمية اللازمة في النفاذ المتعامد أكبر منها في النفاذ غير المتعامد PD NOMA كما هو مبين في الشكل (7) الجزء المتضمن نتائج المحاكاة باستخدام الخوارزمية الأولى لتخصيص الاستطاعة، حيث عدد المستخدمين $N = 5$ ومعامل حذف التداخل $\beta = 0, 0.1$. فيمكن للنفاذ المتعدد غير المتعامد مع مستقبل SIC تام ($\beta = 0$) تخفيض الاستطاعة الأعظمية اللازمة بمقدار $1.4dBm$ عن تلك المحققة في OMA وذلك من أجل معدل نقل معطيات $R_{min} = 0.15bps/Hz$ بينما تُخفض الاستطاعة الأعظمية اللازمة بمقدار $0.7dBm$ عن OMA عند استخدام النفاذ المتعدد غير المتعامد مع مستقبل SIC غير تام ($\beta = 0.1$). ويتحقق نفس التخفيض عند المعدل $R_{min} = 0.15bps/Hz$ باستخدام الخوارزمتين الثانية والثالثة كما هو موضح في الشكل (7). لكن يتشابه أداء الاستطاعة الأعظمية اللازمة في النفاذ

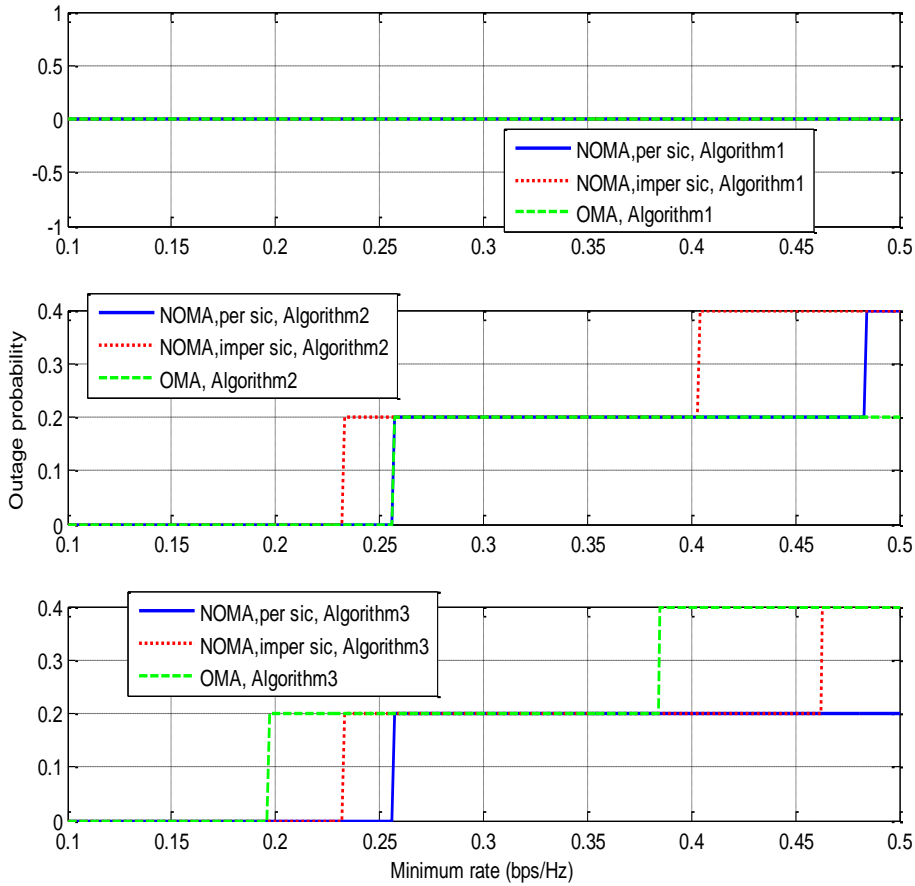
المتعدد المتعامد OMA والنفاذ المتعدد غير المتعامد PD NOMA عند تطبيق الخوارزمية الثانية لتخصيص الاستطاعة من أجل معدلات نقل المعطيات $R_{min} \geq 0.25bps/Hz$. يتفاوت أداء الاستطاعة الأعظمية اللازمة بين OMA و NOMA عند استخدام الخوارزمية الثالثة لتخصيص الاستطاعة وذلك عند المعدلات $R_{min} \geq 0.19bps/Hz$ ، حيث تارةً أداء OMA أفضل منه في PD NOMA وتارةً أخرى بالعكس، فعند معدل نقل المعطيات المطلوب $R_{min} = 0.2bps/Hz$ تكون الاستطاعة الأعظمية اللازمة في OMA أقل منها في PD NOMA مع مستقبل حذف تداخل متتالي تام والتي بدورها أقل من الاستطاعة اللازمة في PD NOMA مع مستقبل حذف تداخل متتالي غير تام. من جهة ثانية، تكون الاستطاعة الأعظمية اللازمة في PD NOMA مع مستقبل حذف تداخل متتالي غير تام عند معدل نقل المعطيات المطلوب $R_{min} = 0.25bps/Hz$ ، أقل منها في OMA والتي تقل بدورها عن الاستطاعة الأعظمية اللازمة في PD NOMA مع مستقبل حذف تداخل متتالي تام. أما عند معدل نقل المعطيات المطلوب $R_{min} = 0.3bps/Hz$ يصبح النفاذ PD NOMA مع مستقبل حذف تداخل متتالي تام الأفضل أداءً من حيث الاستطاعة الأعظمية اللازمة ويليها PD NOMA مع مستقبل حذف تداخل متتالي غير تام ومن ثم OMA.



الشكل (7) استطاعة الإرسال الأعظمية اللازمة لتنفيذ المتعدد المتعامد OMA وغير

المتعامد PD NOMA.

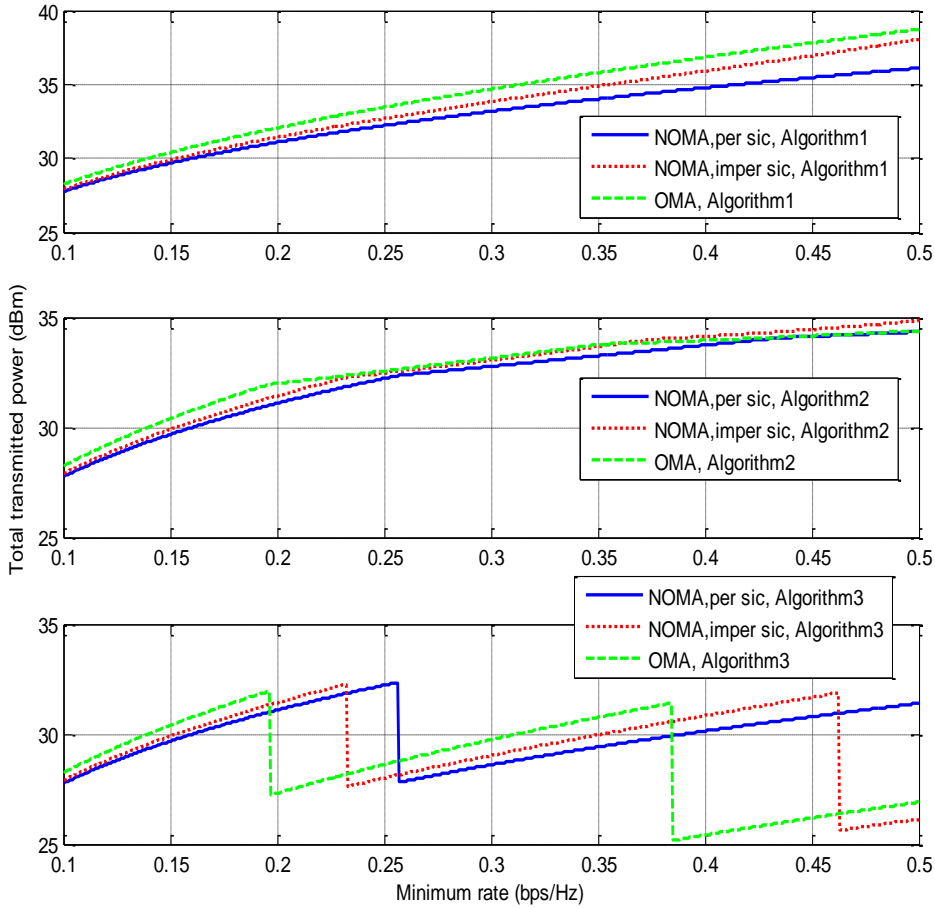
- يوضح الشكل (8) احتمال الانقطاع في النفاذ المتعدد المتعامد OMA والنفاذ المتعدد غير المتعامد PD NOMA عند تطبيق الخوارزميات الثلاث من أجل عدد المستخدمين $N = 5$ ومعامل حذف التداخل $\beta = 0, 0.1$ و $P_{max} = 30dBm$ ، حيث يكون الاحتمال معدوماً لكلا النظامين عند تطبيق الخوارزمية الأولى وذلك لعدم وجود قيود على استطاعة إرسال الأجهزة، ويصبح احتمال الانقطاع 0.2 في OMA و 0.4 في PD NOMA عند تطبيق الخوارزمية الثانية من أجل معدل نقل معطيات $R_{min} = 0.5bps/Hz$. بينما يُصبح أداء احتمال الانقطاع في PD NOMA مع مستقبل SIC تام أفضل (أقل) منه في PD NOMA مع مستقبل SIC غير تام وأقل من الاحتمال المحقق في OMA وذلك عند تطبيق الخوارزمية الثالثة لتخصيص الاستطاعة التي تصل إلى استطاعة الإرسال الأعظمية المتاحة عند المعدل $R_{min} = 0.19bps/Hz$ في OMA كما هو مبين في الشكل (8) بينما تصل في PD NOMA مع مستقبل SIC غير تام عند المعدل $R_{min} = 0.23bps/Hz$ وعند المعدل $R_{min} = 0.26bps/Hz$ في PD NOMA مع مستقبل SIC تام، وبالتالي ستصبح استطاعة الإرسال معدومة لأحد المستخدمين في OMA قبل أن تصبح معدومة لمستخدم في PD NOMA وهذا يؤدي إلى احتمال انقطاع غير معدوم للمستخدم الذي لا يرسل.



الشكل (8) احتمال الانقطاع للنفاذ المتعدد المتعامد OMA وغير المتعامد PD

.NOMA

- مقارنة أداء مجموع استطاعات الإرسال اللازمة المبين في الشكل (9) بين النفاذ المتعدد المتعامد OMA والنفاذ المتعدد غير المتعامد PD NOMA مع مستقبل SIC تام وغير تام، فإن النفاذ المتعدد غير المتعامد PD NOMA مع مستقبل SIC تام يحقق الأداء الأفضل و يليه النفاذ المتعدد غير المتعامد PD NOMA مع مستقبل SIC غير تام ومن ثم OMA وذلك عند تطبيق الخوارزمية الأولى لتخصيص الاستطاعة. في حين يحافظ النفاذ المتعدد غير المتعامد PD NOMA مع مستقبل SIC تام على أفضلية الأداء عند استخدام الخوارزمية الثانية مع التطابق في الأداء مع OMA عند معدلات النقل العالية والذي بدوره يخفض مجموع استطاعات الإرسال اللازمة مقارنةً مع النفاذ المتعدد غير المتعامد PD NOMA مع مستقبل SIC غير تام من أجل $R_{min} > 0.35bps/Hz$. أما أداء مجموع استطاعات الإرسال اللازمة عند تطبيق الخوارزمية الثالثة فهو مشابه لأداء الاستطاعة الأعظمية اللازمة المبينة في الشكل (7).

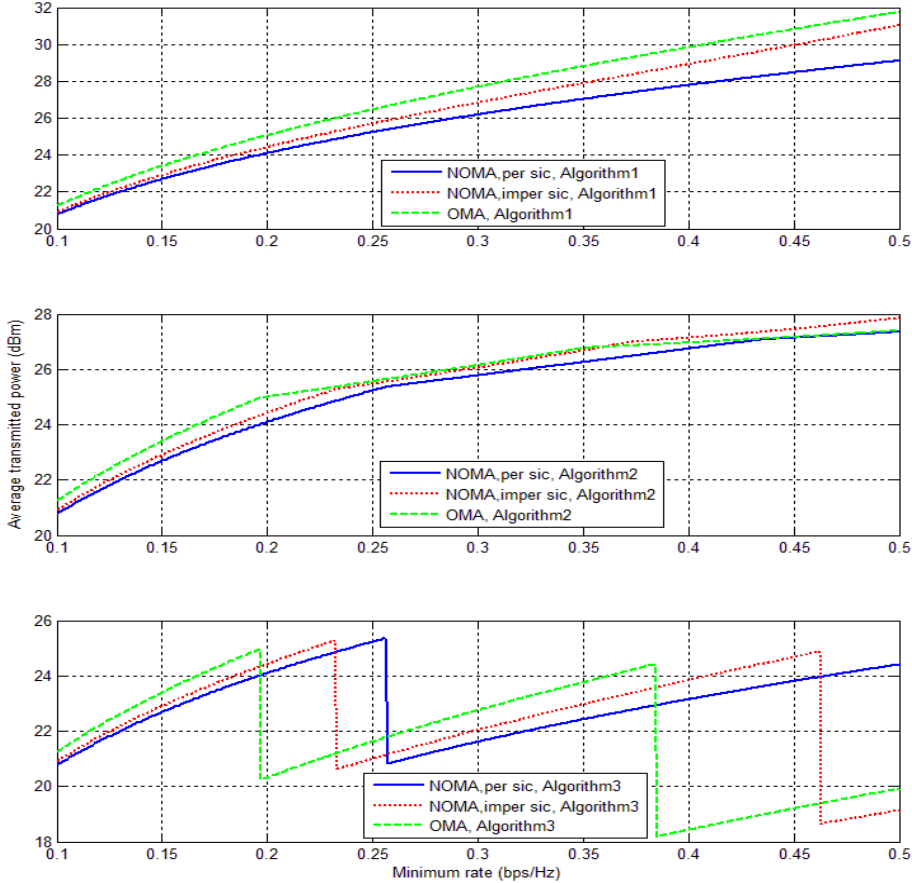


الشكل (9) مجموع استطاعات الإرسال للنفاذ المتعدد المتعامد OMA وغير المتعامد

.PD NOMA

مقارنة أداء النفاذ المتعدد المتعامد OMA وغير المتعامد PD-NOMA في الوصلة الصاعدة
بتطبيق خوارزميات SIC لتخصيص الاستطاعة

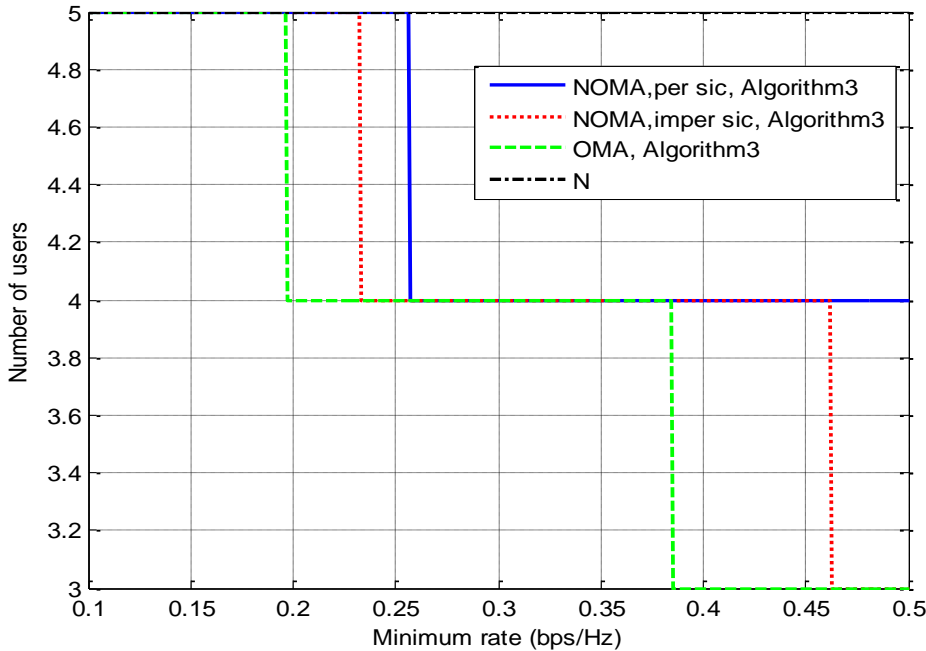
- يبين الشكل (10) متوسط استطاعات الإرسال للنفاذ المتعدد المتعامد OMA وغير المتعامد PD NOMA مع مستقبل حذف التداخل المتتالي التام وغير التام، حيث لا يختلف سلوك المنحنيات عن مجموع الاستطاعات المبينة في الشكل (9) من حيث أفضلية لأداء للنفاذ المتعدد غير المتعامد PD NOMA مع مستقبل حذف تداخل متتالي تام عند تطبيق الخوارزميتين الأولى والثانية وتباين الأداء وفقاً لمعدل النقل المطلوب عند تطبيق الخوارزمية الثالثة.



الشكل (10) متوسط استطاعات الإرسال للنفاذ المتعدد المتعامد OMA وغير المتعامد

.PD NOMA

- إن التباين في أداء احتمال الانقطاع والاستطاعة (الأعظمية، الكلية، المتوسطة) للنفذ المتعدد المتعامد OMA وغير المتعامد PD NOMA مع مستقبل SIC تام وغير تام عند تطبيق الخوارزمية الثالثة لتخصيص الاستطاعة، يرجع إلى تباين عدد المستخدمين المبين في الشكل (11) حيث عدد المستخدمين $N = 5$ ومعامل حذف التداخل $\beta = 0, 0.1$ و $P_{max} = 30dBm$. فعندما يتساوى عدد المستخدمين المتبقين بين OMA و NOMA يكون الأداء الأفضل للنفذ المتعدد غير المتعامد من حيث الاستطاعة واحتمال الانقطاع، وعندما يكون عدد المستخدمين المتبقين في OMA أقل منه في NOMA فإن أفضلية أداء الاستطاعة تكون للنفذ المتعامد مع بقاء أفضلية أداء احتمال الانقطاع للنفذ غير المتعامد.



الشكل (11) عدد المستخدمين المتبقين في الخوارزمية الثالثة لتخصيص الاستطاعة

للنفذ المتعدد المتعامد OMA وغير المتعامد PD NOMA.

- تؤكد نتائج المحاكاة المبينة في الأشكال السابقة من الشكل (7) حتى الشكل (11) أنه يمكن للنفاذ المتعدد غير المتعامد في مجال الاستطاعة PD NOMA مع مستقبل حذف التداخل المتتالي SIC التام، توفير استهلاك الاستطاعة في إرسال الوصلة الصاعدة وتحسين أداء احتمال الانقطاع مقارنةً مع النفاذ المتعدد المتعامد OMA، لكن عند قيم محددة لمعدل نقل المعطيات المطلوب وخاصةً عند القيم المنخفضة. كذلك يمكن للنفاذ المتعدد غير المتعامد في مجال الاستطاعة PD NOMA مع مستقبل حذف التداخل المتتالي SIC غير التام، توفير استهلاك الاستطاعة في إرسال الوصلة الصاعدة وتحسين احتمال أداء الانقطاع وذلك وفقاً لمعامل حذف التداخل ومعدل نقل المعطيات المطلوب.

6- الخاتمة والأعمال المستقبلية

بينت نتائج المقارنة المقدمة في هذا البحث أثر مستقبل حذف التداخل المتتالي SIC غير التام في تخفيض أداء معدل نقل المعطيات في الوصلة الصاعدة مقارنةً مع استخدام مستقبل حذف التداخل المتتالي SIC التام لكلا النفاذين المتعامد وغير المتعامد في مجال الاستطاعة.

بهدف توفير استهلاك الاستطاعة في إرسال الوصلة الصاعدة في النفاذ المتعدد غير المتعامد في مجال الاستطاعة تم استخدام ثلاث خوارزميات لتخصيص الاستطاعة وفقاً لوجود أو عدم وجود قيود على استطاعة الإرسال الأعظمية المتاحة في الأجهزة، كذلك تم تطبيق الخوارزميات الثلاث في إرسال الوصلة الصاعدة للنفاذ المتعدد المتعامد OMA

من أجل تقييم الأداء والمقارنة مع النفاذ المتعدد غير المتعامد في مجال الاستطاعة PD-NOMA. بينت نتائج المحاكاة تفوق أداء النفاذ المتعدد غير المتعامد في مجال الاستطاعة من حيث احتمال الانقطاع واستهلاك الاستطاعة في إرسال الوصلة الصاعدة وذلك عند مجالات محددة للكفاءة الطيفية اللازمة مقارنةً مع النفاذ المتعدد المتعامد، وأن الخوارزميات الثلاث لتخصيص الاستطاعة تُساهم في تخفيض أثر انتشار الخطأ لمستقبل حذف التداخل المتتالي SIC غير التام من حيث استهلاك الاستطاعة.

يمكن العمل مستقبلاً على صياغة مسألة تهدف لتوفير استهلاك الاستطاعة وتحسين الفعالية الطيفية في إرسال الوصلة الصاعدة ضمن قيود استطاعة الإرسال الأعظمية المتاحة في أجهزة الإرسال ومتطلبات جودة الخدمة مع هامش لاحتمال الانقطاع لكل مستخدم. كذلك يمكن دراسة مفاضلة للتحويل بين كلا النظامين فيما يتعلق بالكفاءة الطيفية المطلوبة والاستطاعة اللازم توفيرها تبعاً لمتطلبات المستخدم او لظروف الاتصال وفق أولويات تحدها المحطة القاعدية.

- [1] YANG. S, CHAN. P, LIANG. L, ZHU. J, and SHE. X, 2017- A Survey Uplink Multiple Access Schemes for 5G. ZTE Communications, Vol. 15, PP. 31-40.
- [2] LINGLONG. D, BICHAJ. W, ZHIGUO. D, ZHAOCHENG. W, SHENG. C and LAJOS. H, 2017- A Survey of Non-Orthogonal Multiple Access for 5G. IEEE Journal on Selected Areas in Communication, Vol. 35, PP. 2181-2195.
- [3] RIASOL. I, NURILLA. A, OCTAVIA. A. D, KYUNG-SUP. K, 2017- Power domain non-orthogonal multiple access (NOMA) in 5G systems: Potentials and challenges. IEEE Communication. Surveys & Tutorials, Vol. 19, PP. 721-742.
- [4] KHA-HUNG. N, HIEN. V, NGUYEN. M, TUAN. X, CAO and OH-SOON. S, 2020- Rate Fairness and Power Consumption Optimization for NOMA-Assisted Downlink Networks. MDPI, Open Access Journal, vol. 14(1), PP. 1-18.
- [5] LIU. Y, QIN. Z, ELKASHLAN. M, DING. Z, NALLANATHAN. A and HANZO. L, 2017- "Non-Orthogonal Multiple Access for 5G and Beyond". Proceedings of the IEEE, Vol. 105, PP. 2347 - 2381.
- [6] XIAO. D , BAOGANG. L, and WEI. Z, 2020- Energy Consumption Minimization for Near-Far Server

- Cooperation in NOMA-Assisted Mobile Edge Computing System.** IEEE Access, Vol. 8, PP. 133269 – 133282.
- [7] KONPAL. SHAUKAT. A, EKRAM. H, and MD. JAHANGIR. H, **2020-Partial Non-Orthogonal Multiple Access (NOMA) in Downlink Poisson Networks,** IEEE Transactions on Wireless Communications, Vol. 19, PP. 7637 – 7652.
- [8] WEIDONG. M, and RUI. Z, **2020- Cooperative NOMA for Downlink Asymmetric Interference Cancellation.** IEEE Wireless Communications Letters, Vol. 9, PP. 884 – 888.
- [9] FANG. Y, XU. Q, VIET. P, and ZHIUOG. D, **2020- Energy-Efficient Design of IRS-NOMA Networks.** IEEE Transactions on Vehicular Technology, Vol. 69, PP. 14088 – 14092.
- [10] KHAN. W, JAMEEL. F, RISTANIEME. T, KHAN. S, GUFLAAR. A, SARDAR. S and JU. L, **2020-Joint Spectral and Energy Efficiency Optimization for Downlink NOMA Networks.** IEEE Transactions on Cognitive Communications and Networking, Vol. 6, PP. 645-656.
- [11] ZENG. M, LI. X, LI. G, HAO. W, DOBRE. O. A, **2020- Sum Rate Maximization for IRS-assisted Uplink NOMA.** IEEE Communication Letters, Vol. 25.
- [12] WANG. X, ZHANG. Y, SHEN. R, XU. Y, ZHENG. F, **2020-DRL-Based Energy-Efficient Resource Allocation**

Frameworks for Uplink NOMA Systems. IEEE Internet of Things Journal, Vol.7.

[13] TIAN. X, HUANG. Y, VERMA. S, 2020– Power allocation scheme for maximizing spectral efficiency and energy efficiency tradeoff for uplink NOMA systems in B5G/6G. Physical Communication (2020) 101227.

[14] ZENG. M, HAO. W, DOPRE. O. A, DING. Z, POOR. H. V, 2020– Power Minimization for Multi-Cell Uplink NOMA With Imperfect SIC. IEEE Wireless Communications Letters, vol. 9, no. 12, pp. 2030–2034.

[15] BUDHIRAJA. I, EL. A, 2021– A Systematic Review on NOMA Variants for 5G and beyond. IEEE Access, Vol. 9, PP. 85573–85644.

[16] محمد حليبه، 2023- مقارنة أداء النفاذ المتعدد غير المتعامد في الوصلة الصاعدة باستخدام خوارزميات SIC. مجلة جامعة البعث رقم 1716 ، 2023/8/14.

[16] P. Paudel, 2018– 5G Telecommunication Technology: History, Overview, Requirements and Use Case Scenario in Context of Nepal. Confernce: IT4D.

تقييم أداء نماذج اللغة العربية على مهمة

الكشف عن الموقف تجاه الأخبار الزائفة

إعداد: م. علي محرز *

إشراف: دكتور وسيم رمضان * - دكتور ناصر أبو صالح *

الملخص

إن مهمة الكشف عن الموقف هي مهمة تصنيف موقف مؤلف قطعة من النص تجاه هدف يثير اهتمامنا ضمن أحد الصفوف: مع، ضد، لا هذا ولا ذلك. أحد أهم أنواع المهمة هو الكشف عن الموقف تجاه الأخبار الزائفة التي تدرس مواقف الأفراد والمنظمات تجاه صحة ما يتم نشره من أخبار عبر وسائل التواصل الاجتماعي. اختبرت الدراسات السابقة أداء العديد من نماذج تعلم الآلة للكشف عن الموقف تجاه الأخبار الزائفة في اللغة الإنكليزية إلا أن الدراسات التي تختبر أداء هذه النماذج على المهمة في اللغة العربية لاتزال محدودة جدا. تقوم هذه الورقة بتقييم أداء جميع نماذج اللغة العربية المتاحة على مهمة الكشف عن الموقف تجاه الأخبار الزائفة. تبين من خلال الدراسة تفوق النموذج AraBERT على جميع النماذج الأخرى. تبين أيضا أن المهام التي تم تدريب النماذج عليها بالإضافة إلى نوع بيانات التدريب وحجم النموذج تؤثر على النتائج بشكل أكبر من حجم المعجم وحجم بيانات التدريب.

الكلمات المفتاحية: الكشف عن الموقف - الأخبار الزائفة - اللغة العربية - المحولات

*طالب دكتوراة في قسم هندسة البرمجيات - كلية الهندسة المعلوماتية - جامعة البعث

*دكتور في قسم الاقتصاد الزراعي - كلية الزراعة - جامعة البعث

*دكتور في قسم هندسة البرمجيات - كلية الهندسة المعلوماتية - جامعة البعث

Evaluating the Performance of Arabic Language Models on the Task of Stance Detection Toward Fake News

By: Eng. Ali Mhrez

Supervised by: Dr. Wassim Ramadan, Dr. Naser Abo Saleh

Abstract

Stance detection is the task of classifying the stance of the author of a piece of text towards a target of interest into one of the classes: for, against, neither. One of the most important types of this task is stance detection toward fake news, which studies individuals and organizations stances toward the veracity of news published on social media. Previous studies have examined the performance of many machine learning models at detecting stances toward fake news in the English language, but studies that examine the performance of these models on the task in Arabic are still limited. This paper evaluates the performance of all available Arabic language models on the task of stance detection towards fake news. The study shows that AraBERT is superior to all other models. It also shows that the tasks used for models' training in addition to the type of training data and model sizes affect the results more than vocabulary size and training data size.

Keywords: stance detection – fake news – Arabic language – transformers

1. مقدمة

يمكن تعريف مهمة الكشف عن الموقف على أنها مهمة تصنيف موقف مؤلف قطعة من النص تجاه هدف يثير اهتمامنا (مثل صحة الأخبار أو مصداقية الإشاعات) ضمن أحد الصفوف: مع، ضد، لا هذا ولا ذلك. يتم في بعض الأحيان إضافة الصف محايد الذي يعبر عن حيادية موقف المؤلف إلى الصفوف السابقة [1].

يوجد عدة أنواع لمهمة الكشف عن الموقف [1]، فيوجد الكشف عن الموقف محدد الهدف الذي يدرس الموقف تجاه هدف واحد محدد فقط (مثل موقف المواطنين تجاه المهاجرين الجدد). يوجد أيضا مهمة الكشف عن الموقف متعدد الأهداف التي تدرس موقف المؤلف تجاه أكثر من هدف بالاعتماد على نفس القطعة النصية (مثل موقف الناخبين تجاه المرشحين). لا بد أن تكون الأهداف مرتبطة ببعضها في هذه الحالة.

يوجد أيضا الكشف عن الموقف عبر الهدف والتي تدرس موقف مؤلف النص تجاه هدف بالاعتماد على قطعة نصية يعبر فيها عن موقفه تجاه هدف آخر (مثل موقف الأساتذة تجاه التعليم الخاص انطلاقا من موقفهم تجاه التعليم العام). تحاكي مهمة الكشف عن الموقف عبر الهدف حالة عدم وجود بيانات تعبر عن موقف المؤلف تجاه الهدف الذي تتم دراسة الموقف تجاهه.

من أهم أنواع مهمة الكشف عن الموقف مهمة الكشف عن الموقف تجاه الأخبار الزائفة [2]، [1] والتي تدرس مواقف المنظمات تجاه صحة الأخبار المنشورة. فيساعد ذلك في الكشف عن الأخبار الزائفة مما يساهم في الحد من انتشار هذا النوع من الأخبار التي تؤثر على جميع جوانب الحياة السياسية والاقتصادية والاجتماعية.

في الكشف عن الموقف تجاه الأخبار الزائفة، يتم الاعتماد على محركات البحث المتوفرة (مثل محرك بحث غوغل) لجمع المقالات التي قامت مختلف المنظمات بنشرها (مؤسسات إخبارية، جهات حكومية، ... إلخ) حول الخبر المشكوك في زيفه. يتم بعد ذلك تحليل هذه المقالات لتحديد مواقفها (وبالتالي مواقف ناشرها) تجاه الأخبار ضمن أحد الصفوف: يوافق، لا يوافق، يناقش، غير مرتبط. بالاعتماد على هذه المواقف يتم الحكم على زيف الخبر. فإن وافقت معظم المنظمات على صحة الخبر، يكون احتمال صحته أكبر من احتمال زيفه. في حال رفضت معظم المنظمات صحة الخبر، يكون احتمال زيفه أكبر من احتمال صحته [3].

تم اقتراح العديد من نماذج تعلم الآلة للكشف عن الموقف تجاه الأخبار الزائفة. فتم اقتراح نماذج تقليدية مثل أشجار القرار المعززة بالمشتق Gradient Boosted Decision Trees (GBDTs) [4] ونماذج انحدار لوجستي Logistic Regression (LR) [5].

إن صعوبة وكلفة عملية استخراج الميزات feature extraction بالإضافة إلى قلة فعالية النماذج التقليدية أدى إلى البحث في أداء نماذج التعلم العميق مثل الشبكات العصبية الترشيحية Convolutional Neural Networks (CNNs) [6] ونماذج الذاكرة قصيرة المدى المطولة Long Short-Term Memory (LSTM) [7]. على الرغم من تفوق نماذج التعلم العميق على نماذج التعلم التقليدية إلى أن هذه النماذج تترك الباب مفتوحاً أمام تحسين الأداء.

نتيجة لذلك، تم اختبار العديد من تقنيات الانتباه attention والتي أثبتت فعاليتها في رفع أداء نماذج التعلم العميق. أدت تقنيات الانتباه attention إلى ظهور معمارية المحولات transformer architecture [8]، حيث تفوقت النماذج المدربة مسبقاً

pretrained والتي تعتمد على هذه المعمارية (تسمى أيضا محولات transformers) على جميع النماذج السابقة [9], [10].

في الواقع، يوجد محولات أحادية اللغة مثل BERT [11] و RoBERTa [12] للغة الإنكليزية، CamemBERT [13] للغة الفرنسية، BERTje [14] للغة الهولندية، ArBERT [15] للغة العربية. كما يوجد محولات متعددة اللغات مثل mBERT [16] و xlmRoBERTa [17].

على الرغم من تفوق المحولات على النماذج التقليدية والعميقة، إلا أن الدراسات التي تختبر أداء المحولات على كشف الموقف تجاه الأخبار الزائفة في اللغة العربية لا تزال محدودة [18], [19]. يوجد نقص في الدراسات التي تختبر الطيف الواسع من المحولات العربية حيث تم اختبار أداء ArabicBERT و MarBERT و ArBERT في [19] فقط.

لملئ هذه الثغرة البحثية، قمنا بتقييم أداء جميع المحولات العربية المتاحة: ArBERT و MarBERT [15] و AraBERT [20] و ArabicBERT [21] و AraELECTRA [22] و Qarib [23] و mdaBERT [24] و GigaBERT [25] و ALBERT [26] على مهمة الكشف عن الموقف تجاه الأخبار الزائفة في مجموعة بيانات AraStance [19]. كما قمنا بمقارنة خصائص هذه النماذج من جهة حجم المعجم، مهام التدريب المستخدمة، كمية بيانات التدريب، حجم بيانات التدريب، وحجم النموذج النهائي وتأثيرها هذه الخصائص على أداء النماذج.

تبين من خلال الدراسة تفوق النموذج AraBERT على باقي النماذج. تبين أيضا أن العربية القياسية (Modern Standard Arabic (MSA) تناسب مهمة الكشف عن الموقف تجاه الأخبار الزائفة بشكل أكبر من اللهجات dialects. في الواقع، تشير

النتائج إلى أن المهام التي تم تدريب النماذج عليها بالإضافة إلى نوع بيانات التدريب وحجم النموذج تؤثر على النتائج بشكل أكبر من حجم المعجم وحجم بيانات التدريب.

تقدم الورقة المساهمات التالية:

(1) تقييم أداء جميع المحولات العربية على مهمة كشف الموقف تجاه الأخبار الزائفة.

(2) مقارنة خصائص المحولات العربية وتأثير هذه الخصائص على الأداء.

الورقة مقسمة على الشكل التالي. يراجع القسم 2 الدراسات السابقة على مهمة الكشف عن الموقف تجاه الأخبار الزائفة. يقدم القسم 3 أدوات وطرائق البحث من مجموعة البيانات وخصائص النماذج المدروسة. يناقش القسم 4 النتائج التي تم تحقيقها. يختم القسم 5 الورقة بأهم النقاط والآفاق المستقبلية.

2. الدراسات السابقة

تضيف اللغة العربية مستوى آخر من الصعوبة أمام نماذج تعلم الآلة المقترحة لمشكلة الكشف عن الموقف تجاه الأخبار الزائفة. فاللغة العربية هي لغة منخفضة الموارد، حيث يوجد قلة في مجموعات البيانات Datasets وقواميس الكلمات lexicons وغيرها من الموارد الأساسية لتدريب واختبار نماذج تعلم الآلة [27].

بالإضافة إلى ذلك، فإن اللغة العربية هي لغة معقدة مورفولوجيا morphologically complex، أي أن لكلمات اللغة العربية الكثير من الأشكال والتي قد يصل عددها إلى عشرون شكلاً، بخلاف اللغات الأخرى مثل اللغة الإنكليزية حيث يوجد أربع أو خمس أشكال لمعظم كلماتها [28].

أيضا، يوجد في اللغة العربية قواعد التشكيل diacritics rules والتي تؤثر على المعنى وعلى فهم النص بشكل كبير. يوجد أيضا قواعد اللغة العربية النحوية والتي تعتبر أقل صرامة من القواعد النحوية لباقي اللغات مثل اللغة الإنكليزية [27], [28].

بناء على ما سبق، تركز هذه الدراسة على نماذج اللغة العربية المدربة مسبقا، كونها مدربة على بيانات عربية قياسية وغير قياسية، حيث يساهم ذلك في تمكين النماذج على التعامل مع مختلف أنواع البيانات التي قد تحويها مجموعات البيانات.

تطغى خوارزميات تعلم الآلة machine learning على الحلول المقترحة لمهمة الكشف عن الموقف تجاه الأخبار الزائفة. من هذه الخوارزميات، خوارزميات تعلم تقليدية قائمة على الميزات، خوارزميات تعلم عميق، خوارزميات تعلم جماعي، بالإضافة إلى المحولات transformers.

بدءا بالنماذج المقترحة على المهمة في اللغة الإنكليزية، اقترح الباحثون في [4] نموذج أشجار قرار معزز بالمشتق GBDT، حيث حقق هذا النموذج أداء متوسطا حوالي 75.20% على مقياس الدقة الموزونة weighted accuracy على مجموعة بيانات FNC-1 [3].

أيضا اقترح الباحثون في [29] مصنف مكس يعتمد في طبقة الأولى على ثلاث نماذج بيرسبترون متعددة الطبقات Multi-Layer Perceptron (MLP) ونموذج انحدار لوجستي LR ونموذج أشجار قرار معززة بالمشتق GBDT، كما يعتمد في طبقة الثانية على نموذج أشجار قرار معززة بالمشتق GBDT أيضا. وقد تفوق هذا النموذج على النموذج السابق محققا 78.04 على مقياس الدقة الموزونة.

اعتمد الباحثون في [30] على نموذج بيرسبترون متعدد الطبقات MLP بسيط يتفوق على النموذجين السابقين محققا 81.72% على مجموعة بيانات FNC-1. وبنفس الطريقة، قام الباحثون في [31] بتحسين أداء نموذج بيرسبترون متعدد الطبقات MLP عن طريق تشكيل مصنف مجموعة ensemble classifier مكون من خمس نماذج MLP لتشكيل مصنف مجموعة يتفوق على الـ MLP المستقلة محققا 81.97%.

كما قام الباحثون في [32] بتدريب مصنف مجموعة ensemble classifier أيضا مكون من نموذج أشجار القرار السابق GBDT مع نموذج CNN. فتفوق هذا النموذج على جميع النماذج السابقة محققا 82.02%.

من الميزات التي تم الاعتماد عليها في بناء النماذج السابقة. ميزات حقائب الكلمات مثل أشعة tf-idf، ميزات قائمة على قواميس الكلمات مثل عدد كلمات الرفض بالاعتماد على قاموس الموقف وعدد كلمات القطبية بالاعتماد على قاموس المشاعر. كما تم الاعتماد على ميزات نماذج المواضيع، مثل none negative matrix و Factorization و latent semantic indexing.

لاحقا قام الباحثون في [7] بتكديس نموذجي ذاكرة قصيرة المدى مطولة LSTM، متبوعا بنموذج MLP للقيام بمعالجة إضافية لخرج نموذج الذاكرة بالاعتماد على بعض الميزات اليدوية، وقد تفوق هذا النموذج على جميع النماذج السابقة محققا 82.10% بمقياس الدقة الموزونة.

واقترح الباحثون في [6] نموذج هجين يعتمد على نموذج ذاكرة LSTM ونموذج CNN بالإضافة إلى مصفوف تشابه لاستخراج أجزاء الوثيقة الأكثر أهمية في عملية التصنيف. وقد حقق هذا النموذج الهجين 81.23% دقة موزونة.

نظرا لمحدودية أداء النماذج السابقة، بدء الباحثون بالبحث في فعالية تقنيات الانتباه attention techniques في رفع أداء هذه النماذج. فقام الباحثون في [33] بترميز العلاقة بين العنوان والوثيقة بطريقتين، الأولى تعتمد على نموذج ذاكرة شرطي ثنائي الاتجاه conditional BiLSTM، والثانية تعتمد على الانتباه المتطابق co-matching attention. وقد تفوق نموذج الانتباه المتطابق على نموذج الذاكرة الشرطي مثبتا فعالية تقنيات الانتباه في رفع أداء نماذج تعلم الآلة.

وينفس الطريقة، قام الباحثون في [34] بتحسين أداء نموذج ذاكرة ثنائي الاتجاه BiLSTM بالاعتماد على ثلاث تقنيات انتباه. الأولى بسيطة يتم فيها مقارنة جميع كلمات الوثيقة بالتمثيل النهائي للعنوان. الثانية كاملة يتم فيها مقارنة جميع كلمات الوثيقة بجميع كلمات العنوان. الثالثة متعددة وجهات النظر يتم فيها مقارنة جميع الكلمات بالاعتماد على عدة مقاييس بدلا من مقياس واحد.

إن فعالية تقنيات الانتباه في تحسين أداء النماذج السابقة أدى إلى ظهور معمارية المحولات [8] ونماذج اللغة المدربة مسبقا التي تفوقت على جميع النماذج السابقة.

فقام الباحثون في [9] باختبار أداء BERT [11] و inferSent [35] و XLNet [36] و RoBERTa [12] على مجموعة بيانات FNC-1 [3] حيث تفوق النموذج RoBERTa على جميع النماذج السابقة.

وينفس الطريقة، قام الباحثون في [10] بمقارنة النماذج BERT و RoBERTa و DistilBERT [37] و ALBERT [38] و XLNet على مجموعة بيانات FNC-1 حيث تفوق النموذج RoBERTa من جديد على جميع النماذج السابقة.

على الرغم من الاهتمام الكبير الذي حظيت به مهمة الكشف عن الموقف بشكل عام، ومهمة الكشف عن الموقف تجاه الأخبار الزائفة بشكل خاص، إلا أن الدراسات على هذه المهام في اللغة العربية لاتزال محدودة جدا.

فقام الباحثون في [39] ببناء مجموعة بيانات عربية جديدة، كما قاموا باختبار أداء نموذج الـ MLP المقترحة في [30] ونموذج الذاكرة المقترح في [7] ونموذج أشجار القرار المقترح في [4] والنموذج الهجين المقترح في [6]. وقد قدمت جميع النماذج أداء ضعيفا حوالي الـ 50% متوسط f1-score على مجموعة البيانات المقترحة.

وبنفس الطريقة، قام الباحثون في [18] ببناء مجموعة بيانات عربية جديدة أيضا للكشف عن الموقف تجاه الأخبار الزائفة على مستوى الجملة. كما قاموا باختبار أداء عدة نماذج ذاكرة LSTM بالإضافة إلى اختبار أداء المحول BERT. وقد تفوق المحول BERT على جميع نماذج الذاكرة المختبرة.

وقام الباحثون في [19] ببناء مجموعة بيانات عربية جديدة أيضا، حيث تم اختبار أداء النماذج mBERT [16] و ArBERT و MarBERT [15] و ArabicBERT [21] على هذه المجموعة. حيث تفوق النموذج ArBERT على النماذج الأخرى.

وفي النهاية، قام الباحثون في [40] باختبار أداء العديد من نماذج الـ CNN والـ BiLSTM بالإضافة إلى نموذج MLP. وقد تبين تفوق النموذج MLP على باقي النماذج المختبرة مشيرا إلى أهمية إشارة الكلمات في تصنيف الموقف تجاه الأخبار الزائفة في اللغة العربية.

تختلف هذه الدراسة عن الدراسات العربية السابقة في نماذج تعلم الآلة التي تم اختبارها. فتم التركيز في هذه الدراسة على نماذج اللغة العربية وإجراء تحليل شامل

لأدائها على المهمة وذلك لتحديد أسباب تفوق بعض النماذج على النماذج الأخرى بالإضافة إلى تحديد آفاق التطوير المستقبلية.

3. أدوات وطرائق البحث

3.1 مجموعة البيانات

تم تقييم أداء المحولات العربية على مجموعة بيانات AraStance [19]. تتكون هذه المجموعة من 4063 زوج ادعاء/وثيقة مقسمة على ثلاث مجموعات، تدريب وتحقق واختبار كما يظهر في الجدول 1. تم تأشير الأزواج عن طريق تصنيف مواقف الوثائق تجاه ادعاءاتها ضمن أحد الصفوف التالية: يوافق، لا يوافق، يناقش، غير مرتبط، حيث يمثل الصف غير مرتبط ووثائق لا تتناول مواضيع ادعاءاتها. أما بالنسبة للصفوف المرتبطة (يوافق، لا يوافق، يناقش) فهي تمثل موقف الوثيقة من مصداقية الادعاء، أي هل توافق الوثيقة على صحة الادعاء، ام لا توافق عليه، أم تناقشه بدون أخذ موقف صريح. كما يعرض الجدول 1، فإن هذه المجموعة منحازة نحو الصف غير مرتبط أي أن معظم ووثائقها تناقش مواضيعا غير مرتبطة بادعاءاتها.

جدول 1 - إحصائيات مجموعة بيانات AraStance

الصف	تدريب	تحقق	اختبار
يوافق	739	129	154
لا يوافق	309	76	64
يناقش	247	70	70
غير مرتبط	1553	294	358
الإجمالي	2848	569	646

3.2 النماذج

يعرض الجدول 2 خصائص النماذج التي تم اختبار اداءها في التجارب العملية. فيما يلي شرح مختصر لهذه النماذج:

AraBERT [20]: محول يستخدم نفس معمارية المحول BERT. يعتمد على معجم بحجم 64 ألف وحدة. تم تدريبه باستخدام مهمة النموذج اللغوي المقنع Masked Language Model (MLM) بالإضافة إلى مهمة التنبؤ بالجملة التالية Next Sentence Prediction (NSP). تم التدريب على 24 غيغا من النصوص العربية القياسية MSA. يأتي بعدة إصدارات، بعضها يعتمد على التقطيع segmentation لتخفيف تبعثر المعجم والبعض الآخر لا يعتمد عليها.

ArabicBERT [21]: محول يستخدم نفس معمارية BERT يعتمد على معجم بحجم 32 ألف وحدة. تم تدريبه باستخدام مهمة النموذج اللغوي المقنع MLM لكن بدون مهمة التنبؤ بالجملة التالية NSP. تم التدريب على 95 غيغا من النصوص العربية القياسية MSA مع بعض النصوص غير القياسية المكتوبة باستخدام اللهجات Dialects العربية. يأتي بأربع أحجام مختلفة، كبير وأساسي ومتوسط وصغير.

GigaBERT [25]: محول يستخدم نفس معمارية BERT. يعتمد على معجم بحجم 50 ألف وحدة. تم تدريبه باستخدام مهمة النموذج اللغوي المقنع MLM لكن بدون مهمة التنبؤ بالجملة التالية NSP. يأتي بعدة إصدارات تختلف في بيانات التدريب المستخدمة بالإضافة إلى خوارزمية التقطيع (SentencePieces أو WorkPieces). يهدف هذا النموذج بشكل رئيسي إلى دعم نقل المعرفة cross lingual transfer من اللغة الإنكليزية إلى اللغة العربية.

ArBERT و MarBERT [15]: محولين يستخدمان نفس معمارية BERT. يعتمد كل منهما على معجم بحجم 100 ألف وحدة. تم تدريبهما باستخدام مهمة النموذج اللغوي المقنع MLM بدون الاعتماد على مهمة التنبؤ بالجملة التالية NSP. تم تدريب ArBERT على 61 غيغا من النصوص العربية القياسية MSA وتم تدريب

MarBERT على 128 غيغا من النصوص العربية المسترجعة من التويتر والتي تحوي نصوص عربية قياسية ولهجات.

QARiB [23]: محول يستخدم نفس معمارية BERT. يعتمد على معجم بحجم 64 ألف وحدة. تم تدريبه باستخدام مهمة النموذج اللغوي المقنع MLM بدون الاعتماد على مهمة التنبؤ بالجملة التالية NSP. تم التدريب على 25 غيغا من النصوص العربية القياسية MSA وغير القياسية.

جدول 2 - خصائص النماذج المختبرة

النموذج	حجم المعجم (آلاف)	مهام التدريب	بيانات التدريب	حجم البيانات (غيغا)	حجم النموذج (ملايين)
AraELECTRA	64	RTD	MSA	77	136
ArBERT	100	MLM	MSA	61	163
MarBERT	100	MLM	MSA Dialect	128	163
Qarib	64	MLM	MSA Dialect	25	135
mdaBERT	32	MLM	MSA Dialect	95+10	110
ArabicBERT	32	MLM	Mostly MSA	95	11, 42, 110, 340
AraBERT	64	MLM NSP	MSA	24	135
GigaBERT	50	MLM	MSA	-	125
AIBERT	30	MLM SOP	Mostly MSA	-	12, 18, 60

– Replaced Token Detection :RTD – Masked Language model :MLM
– Sentence Order Prediction :SOP – Next Sentence Prediction :NSP
Modern Standard Arabic :MSA

mdaBERT [24]: النموذج ArabicBERT [21] مدرب بشكل إضافي على 10 مليون تغريدة من التويتر لثلاث دورات epochs إضافية. يختلف هذا النموذج عن النماذج السابقة في كونه مطور لتقديم أداء جيد بشكل خاص على مهمة التعرف على اللهجات العربية Arabic dialect identification.

AraELECTRA [22]: محول يستخدم نفس معمارية BERT يعتمد على معجم بحجم 64 ألف وحدة. تم تدريبه بنفس طريقة تدريب المحول ELECTRA [41] باستخدام مهمة Replaced Token Detection. تم التدريب على 77 غيغا من النصوص العربية القياسية MSA.

ArabicALBERT [26]: محول يستخدم نفس معمارية المحول ALBERT [38] يعتمد على معجم بحجم 30 ألف وحدة. تم تدريبه باستخدام مهمة النموذج اللغوي المقنع MLM ومهمة التنبؤ بترتيب الجمل (SOP) Sentence Order Prediction. تم التدريب على نصوص عربية قياسية MSA مع وجود بعض النصوص غير القياسية.

4. النتائج والمناقشة

تم الاعتماد على مكتبة hugging face [42] كمصدر للمعماريات والأوزان المدربة مسبقا. كما تم الاعتماد على نفس المكتبة للحصول على المقطع tokenizer الافتراضي لكل نموذج والمسؤول عن تمثيل الدخل الخاص بالنموذج.

أما بالنسبة لإعدادات التدريب، فقد تم تدريب جميع النماذج باستخدام طول سلسلة 512، حجم دفعة 32، معامل تعلم $2e-5$ ، نسبة تهيئة 10%. تم التدريب باستخدام

تابع خسارة cross entropy loss وخوارزمية Adam حتى 25 دورة حيث تنتهي عملية التدريب عندما يتوقف تحسن الأداء على مجموعة التحقق لـ 5 دورات متتالية.

لتقييم أداء النماذج، تم الاعتماد على مقياس macro f1-score أي المتوسط غير الموزون لقيمة الـ f1-scores عبر الصفوف. تم الاعتماد على هذا المقياس كون مجموعة البيانات غير متوازنة كما يوضح الجدول 1.

يعرض الجدول 3 أداء النماذج على مجموعة الاختبار في مجموعة AraStance. تفوق النموذج AraBERT على باقي النماذج محققا 78.90% متوسط f1-score. وقد حققت النماذج ArBERT و ArabicBERT_base و GigaBERT أداء منافسا تجاوز الـ 78%. يشير تفوق هذه النماذج على النماذج الأخرى إلى العديد من النقاط. بالنسبة لبعدها نوع بيانات التدريب المسبق، يشير تفوق النماذج AraBERT و ArBERT و ArabicBERT_base و GigaBERT إلى أن العربية القياسية MSA تناسب مهمة الكشف عن الموقف المدروسة بشكل أكبر من العربية المكتوبة باللهجات. في الواقع، انخفض أداء النماذج MarBERT و Qarib و mdaBERT المدربة على بيانات مكتوبة باللهجات بشكل واضح عن النماذج السابقة رغم تقارب أحجامها.

جدول 3 - نتائج النماذج على مجموعة الاختبار في مجموعة بيانات AraStance.

هذه النتائج هي متوسط 3 تكرارات لكل تجربة

متوسط f1-score	غير مرتبط	يناقش	لا يوافق	يوافق	الدقة	النموذج (%)
78.14	93.69	57.16	76.43	85.26	86.53	ArBERT
78.01	94.09	53.47	80.22	84.24	86.64	arabicBERT-base
78.90	95.09	56.57	78.15	85.80	87.82	AraBERTv01
78.33	95.53	56.65	74.88	86.22	87.41	AraBERTv02
78.83	94.28	54.56	79.28	87.19	87.15	AraBERTv1
77.09	94.17	53.26	74.41	86.52	86.17	AraBERTv2
75.28	93.21	50.01	73.65	84.25	84.88	GigaBERTv3
78.57	94.31	56.77	76.99	86.18	86.74	GigaBERTv4
74.75	91.87	50.12	75.41	81.63	84.00	QARiB
69.28	88.59	42.90	65.68	79.95	80.03	mdaBERT
74.02	92.60	45.46	73.08	84.93	84.62	MarBERT
75.79	93.44	51.72	75.21	82.78	85.08	MarBERTv2
73.80	94.15	48.90	69.98	82.14	84.26	AraELECTRA
70.10	92.86	39.93	66.13	81.49	82.82	arabicBERT-mini
74.50	92.10	46.03	74.58	85.27	84.37	arabicBERT-medium
74.52	92.10	49.93	72.98	83.06	83.90	albert-base
77.70	93.82	53.14	77.67	86.20	86.33	albert-large
76.38	93.20	49.19	77.54	85.62	84.78	albert-xlarge

بالنسبة لبعدهم مهام التدريب المستخدمة لتدريب مختلف النماذج، نجد عدم تقديم مهمة التنبؤ بالجملة التالية NSP لأي قيمة مضافة حيث تقارب أداء النماذج المدربة عليها مع النماذج التي لم تتدرب عليها. لكن بالنظر إلى مهمة الـ RTD المستخدمة في تدريب النموذج AraELECTRA نجد أن هذه المهمة لا تتناسب مهمة الكشف عن الموقف المدروسة بشكل واضح حيث انخفض أداء النموذج AraELECTRA بحوالي 5 نقاط عن باقي النماذج رغم اعتماده على نفس المعمارية.

أما بالنسبة لبعدهم حجم المعجم، فنجد أن معجم بحجم 50,000 كلمة يكفي لتحقيق أقصى أداء حيث لم تأتي زيادة حجم المعجم بزيادة في الأداء. هذا التوجه واضح من خلال النموذج GigaBERT الذي حقق 78.57% متوسط f1-score بالمقارنة مع النماذج ArBERT و AraBERT التي تعتمد على معجم بأحجام 100,000 و 64,000 على الترتيب. في الواقع، من الممكن أن يكون حجم المعجم 32,000 المستخدم في إنتاج النموذج ArabicBERT هو السبب في التفوق البسيط للنماذج السابقة عليه رغم اعتماده على نفس مهام التدريب ونفس نوع البيانات.

وبالنسبة لكمية البيانات المستخدمة في التدريب المسبق، نجد تفاوت كبير في كميات البيانات المستخدمة في تدريب مختلف النماذج، لكن من الواضح أن نوع البيانات أهمية من كميتها. يؤكد ذلك انخفاض أداء النموذجين MarBERT و mdaBERT المدربين على أكثر من 100 غيغا بايت من البيانات بالمقارنة مع النماذج الأخرى التي تستخدم كميات أقل بكثير من البيانات مثل النموذج AraBERT الذي يستخدم 24 غيغا بايت فقط متفوقا على جميع النماذج الأخرى.

في النهاية، يبدو أن حجم النموذج يؤثر بشكل كبير الأداء، فقد انخفض أداء النماذج ArabicBERT الصغير والمتوسط والأساسي. كما انخفض أداء النموذج ALBERT بمختلف أحجامه عن باقي النماذج.

بالنظر إلى الأداء عبر الصفوف، من الممكن ملاحظة أن مهمة تصنيف الموقف أصعب من مهمة تصنيف الارتباط، حيث تجاوز أداء معظم النماذج الـ 90% - f1 score على الصف غير مرتبط. في المقابل، نجد انخفاض كبير في الأداء على الصف يناقش حيث لم يتجاوز الأداء 57% f1-score على هذا الصف. يمكن أن نعزي ذلك إلى صعوبة التمييز بين الصف يناقش والصفين يوافق ولا يوافق حيث أن جميع الوثائق المرتبطة تناقش ادعاءاتها سواء وافقت على صحتها أم رفضتها.

5. الخاتمة

قمنا في هذه الورقة بتقييم أداء جميع المحولات العربية الموجودة على مهمة الكشف عن الموقف تجاه الأخبار الزائفة. كما قمنا بمقارنة خصائص هذه المحولات من حجم المعجم، مهام التدريب المستخدمة، كمية بيانات التدريب، حجم بيانات التدريب، وحجم النموذج النهائي وتأثيرها على النتائج.

تبين من خلال الدراسة تفوق النموذج AraBERT على باقي النماذج بنسب متفاوتة. كما تبين أن العربية القياسية MSA تتناسب مهمة الكشف عن الموقف تجاه الأخبار الزائفة بشكل أكبر من اللهجات. تبين أيضا أن مهام التدريب المستخدمة في تدريب النماذج تؤثر على الأداء بشكل أكبر من حجم المعجم وحجم بيانات التدريب.

سنقوم لاحقا بتحليل أخطاء النماذج المدروسة لفهم نقاط الضعف الرئيسية وتحديد الثغرات التي يمكن عن طريقها تطوير أداء النماذج. كما سنقوم بدراسة أداء المحولات متعددة اللغات ومقارنتها مع المحولات العربية المدروسة.

المراجع

- [1] KÜÇÜK D. *et al.*, 2021 – Stance Detection: A Survey, ACM Computing Surveys, vol. 53, no. 1, pp. 1–37
- [2] HARDALOV M. *et al.*, 2022 – A Survey on Stance Detection for Mis- and Disinformation Identification, in Findings of the Association for Computational Linguistics: NAACL 2022, pp.1259–1277
- [3] POMERLEAU D. *et al.*, 2017 – Fake news challenge stage 1 (FNC-1): Stance detection. <http://www.fakenewschallenge.org/> (accessed Jun. 04, 2022).
- [4] POMERLEAU D. *et al.*, FNC-1 Baseline System. <https://github.com/FakeNewsChallenge/fnc-1-baseline> (accessed Apr. 04, 2023).
- [5] BOURGONJE P. *et al.*, 2017 – From Clickbait to Fake News Detection: An Approach based on Detecting the Stance of Headlines to Articles, in Proceedings of the 2017 EMNLP Workshop: Natural Language Processing meets Journalism, pp.84–89
- [6] MOHTARAMI M. *et al.*, 2018 – Automatic Stance Detection Using End-to-End Memory Networks, in Proceedings of the 2018 Conference of the North American Chapter of the Association for Computational Linguistics: Human Language Technologies, Volume 1 (Long Papers), pp.767–776
- [7] HANSELOWSKI A. *et al.*, 2018 – A Retrospective Analysis of the Fake News Challenge Stance-Detection Task, in

Proceedings of the 27th International Conference on Computational Linguistics, pp.1859–1874

- [8] VASWANI A. *et al.*, 2017 – Attention Is All You Need, [arXiv:1706.03762v7](https://arxiv.org/abs/1706.03762v7) [cs.CL]
- [9] SLOVIKOVSKAYA V. *et al.*, 2020 – Transfer Learning from Transformers to Fake News Challenge Stance Detection (FNC-1) Task, in *Proceedings of the Twelfth Language Resources and Evaluation Conference*, pp.1211–1218
- [10] GUDERLEI M. *et al.*, 2020 – Evaluating Unsupervised Representation Learning for Detecting Stances of Fake News, in *Proceedings of the 28th International Conference on Computational Linguistics*, pp.6339–6349
- [11] JACOB DEVLIN *et al.*, 2018 – BERT: Pre-training of Deep Bidirectional Transformers for Language Understanding, [arXiv:1810.04805v2](https://arxiv.org/abs/1810.04805v2) [cs.CL]
- [12] LIU Y. *et al.*, 2019 – RoBERTa: A Robustly Optimized BERT Pretraining Approach, [arXiv:1907.11692v1](https://arxiv.org/abs/1907.11692v1) [cs.CL]
- [13] MARTIN L. *et al.*, 2020 – CamemBERT: a Tasty French Language Model, in *Proceedings of the 58th Annual Meeting of the Association for Computational Linguistics*, pp.7203–7219
- [14] DE VRIES W. *et al.*, 2019 – BERTje: A Dutch BERT Model, [arXiv:1912.09582](https://arxiv.org/abs/1912.09582) [cs.CL]
- [15] ABDUL-MAGEED M. *et al.*, 2021 – ARBERT & MARBERT: Deep Bidirectional Transformers for Arabic, in *Proceedings of the 59th Annual Meeting of the Association for*

Computational Linguistics and the 11th International Joint Conference on Natural Language Processing (Volume 1: Long Papers), pp.7088–7105

- [16] JACOB DEVLIN *et al.*, Multilingual BERT. <https://github.com/google-research/bert/blob/master/multilingual.md> (accessed Apr. 04, 2023).
- [17] CONNEAU A. *et al.*, 2020 – Unsupervised Cross-lingual Representation Learning at Scale, in Proceedings of the 58th Annual Meeting of the Association for Computational Linguistics, pp.8440–8451
- [18] KHOUJA J., 2020 – Stance Prediction and Claim Verification: An Arabic Perspective, in Proceedings of the Third Workshop on Fact Extraction and VERification (FEVER), pp.8–17
- [19] ALHINDI T. *et al.*, 2021 – AraStance: A Multi-Country and Multi-Domain Dataset of Arabic Stance Detection for Fact Checking, in Proceedings of the Fourth Workshop on NLP for Internet Freedom: Censorship, Disinformation, and Propaganda, pp.57–65
- [20] ANTOUN W. *et al.*, 2020 – AraBERT: Transformer-based Model for Arabic Language Understanding, in Proceedings of the 4th Workshop on Open-Source Arabic Corpora and Processing Tools, with a Shared Task on Offensive Language Detection, pp.9–15

- [21] SAFAYA A. *et al.*, 2020 – KUISAIL at SemEval–2020 Task 12: BERT–CNN for Offensive Speech Identification in Social Media, in *Proceedings of the Fourteenth Workshop on Semantic Evaluation*, pp.2054–2059
- [22] ANTOUN W. *et al.*, 2021 – AraELECTRA: Pre–Training Text Discriminators for Arabic Language Understanding, in *Proceedings of the Sixth Arabic Natural Language Processing Workshop*, pp.191–195
- [23] ABDELALI A. *et al.*, 2021 – Pre–Training BERT on Arabic Tweets: Practical Considerations, [arXiv:2102.10684](https://arxiv.org/abs/2102.10684) [cs.CL].
- [24] TALAFHA B. *et al.*, 2020 – Multi–Dialect Arabic BERT for Country–Level Dialect Identification, [arXiv:2007.05612](https://arxiv.org/abs/2007.05612) [cs.CL].
- [25] LAN W. *et al.*, 2020 – An Empirical Study of Pre–trained Transformers for Arabic Information Extraction, in *Proceedings of the 2020 Conference on Empirical Methods in Natural Language Processing (EMNLP)*, pp.4727–4734
- [26] ALI SAFAYA, 2020 – Arabic–ALBERT. <https://github.com/KUIS-AI/Arabic-ALBERT>.
- [27] OBEID O. *et al.*, 2020 – CAMeL Tools: An Open Source Python Toolkit for Arabic Natural Language Processing, in *Proceedings of the Twelfth Language Resources and Evaluation Conference*, pp.7022–7032
- [28] DIAB M. *et al.*, 2007 – Automatic Processing of Modern Standard Arabic Text. *Arabic Computational Morphology*, vol. 38, pp. 159–179.

- [29] THORNE J. *et al.*, 2017 – Fake news stance detection using stacked ensemble of classifiers, in *Proceedings of the 2017 EMNLP Workshop: Natural Language Processing meets Journalism*, pp.80–83
- [30] RIEDEL B. *et al.*, 2017 – A simple but tough-to-beat baseline for the Fake News Challenge stance detection task, arXiv:1707.03264v2 [cs.CL]
- [31] HANSELOWSKI A. *et al.*, Athene System. https://github.com/hanselowski/athene_system (accessed Apr. 04, 2023).
- [32] PAN Y. *et al.*, 2017 – Team SOLAT IN THE SWEN. <https://github.com/Cisco-Talos/fnc-1> (accessed Apr. 04, 2023).
- [33] CONFORTI C. *et al.*, 2018 – Towards Automatic Fake News Detection: Cross-Level Stance Detection in News Articles, in *Proceedings of the First Workshop on Fact Extraction and VERification (FEVER)*, pp.40–49
- [34] ZENG Q. *et al.*, 2018 – Neural Stance Detectors for Fake News Challenge. <https://web.stanford.edu/class/archive/cs/cs-224n/cs224n.1174/reports/2761936.pdf>
- [35] CONNEAU A. *et al.*, 2017 – Supervised Learning of Universal Sentence Representations from Natural Language Inference Data, arXiv:1705.02364v5 [cs.CL]

- [36] YANG Z. *et al.*, 2019 – XLNet: Generalized Autoregressive Pretraining for Language Understanding, [arXiv:1906.08237v2](https://arxiv.org/abs/1906.08237v2) [cs.CL]
- [37] SANH V. *et al.*, 2019 – DistilBERT, a distilled version of BERT: smaller, faster, cheaper and lighter, [arXiv:1910.01108v4](https://arxiv.org/abs/1910.01108v4) [cs.CL]
- [38] LAN Z. *et al.*, 2019 – ALBERT: A Lite BERT for Self-supervised Learning of Language Representations, [arXiv:1909.11942v6](https://arxiv.org/abs/1909.11942v6) [cs.CL]
- [39] BALY R. *et al.*, 2018 – Integrating Stance Detection and Fact Checking in a Unified Corpus, in *Proceedings of the 2018 Conference of the North American Chapter of the Association for Computational Linguistics: Human Language Technologies, Volume 2 (Short Papers)*, pp.21–27
- [40] ALI MHREZ *et al.*, 2023 – Evaluating the Performance of Deep Learning Models on the Task of Stance Detection Toward Fake News, [Journal of Al-Baath University](#)
- [41] CLARK K. *et al.*, 2020 – ELECTRA: Pre-training Text Encoders as Discriminators Rather Than Generators, [arXiv:2003.10555v1](https://arxiv.org/abs/2003.10555v1) [cs.CL]
- [42] WOLF T. *et al.*, 2020 – Transformers: State-of-the-Art Natural Language Processing, in *Proceedings of the 2020 Conference on Empirical Methods in Natural Language Processing: System Demonstrations*, pp.38–45

سياسة مُحسَّنة لاستبدال ذاكرة التخزين المؤقت في شبكات البيانات المُسمَّاة

¹د. م. يمان غازي

²م. عاصم الحمصيه

الملخص

حَظِيَتْ شبكات البيانات المُسمَّاة (NDN) في الآونة الأخيرة اهتماماً متزايداً من قِبل المختصين بمجال الشبكات الحاسوبية. ويمكن أن تُعرَّفها بأنها إحدى معماريات شبكات المعلومات المركزية (ICN) المُصمَّمة لتكون معمارية جديدة متطورة في نظام الاتصالات. حيث تم تصميم NDN لتعتمد مبدأ تسمية البيانات بدلاً من عنوانها من عنونة البيانات، وبالتالي يعتمد تسليم البيانات على أسماء البيانات وليس على عناوينها. تقدّم هذه الشبكات العديد من الفوائد مثل الإرسال المتعدد، التخزين المؤقت داخل الشبكة، إعادة توجيه متعدد المسارات، حماية البيانات المُدمجة ضمنها، والاسترداد السريع للبيانات. يعدّ التخزين المؤقت داخل الشبكة ميزةً أساسيةً في بنية NDN، وتكمن مشكلة البحث في أنّ اختيار سياسة استبدال ذاكرة التخزين المؤقت (cache replacement policy) بشكل خاطئ يؤدي إلى زيادة تأخير وصول رزم البيانات وزيادة الأعباء أيضاً على مُنتج البيانات. يركّز هذا البحث بالتحديد على حل مشكلة التخزين المؤقت

¹مدرّس - كلية الهندسة المعلوماتية - قسم هندسة الشبكات والنظم الحاسوبية - جامعة البعث.
²طالب دراسات عليا (ماجستير) - كلية الهندسة المعلوماتية - قسم هندسة الشبكات والنظم الحاسوبية - جامعة البعث.

للمحتوى وسياسات استبدال الـ cache، مما يَنتج عنه زيادة كفاءة استرجاع البيانات وتحسُّن مقاييس جودة الخدمة. تتجلى مساهمة البحث باقتراح سياسة جديدة لاستبدال الـ cache مشتقَّة من سياسة CCP واسمها السياسة المُحسَّنة لاستبدال الـ cache بالاعتماد على شعبية المحتوى (ICCP)، حيث تعتمد في اتخاذ قرار الاستبدال على مُعاملين هامَّين لم يتم أخذهما سابقاً بعين الاعتبار، وهما: مُعامل الازدحام ومُعامل جدول شعبية المحتويات المؤرشفة. لقد أظهرت نتائج المُحاكاة وتقييم الأداء بمحاكي ndnSIM أنَّ سياسة ICCP المُقترحة تتفوق على كل من سياسة -PRIORITY FIFO، سياسة LRU، وسياسة CCP من حيث مُعدَّل إصابة الـ Cache، التأخير، وحركة مرور البيانات.

الكلمات المفتاحية: شبكات البيانات المُسمَّاة، التخزين المؤقت داخل الشبكة، سياسة استبدال ذاكرة التخزين المؤقت، سياسة CCP.

An Improved Cache Replacement Policy for Named Data Networking

³Dr. Eng. Yaman Ghazi

⁴Eng. Asim Al-Himsya

ABSTRACT

Named Data Networking (NDN) has recently received increasing attention from computer networking professionals. NDN can be defined as one of the Information Centric Networking (ICN) architectures designed to be a new advanced architecture in the communications system. NDN is designed to rely on the principle of data naming rather than data addressing, and thus data delivery depends on the names of the data, not their addresses. These networks provide many benefits such as multicasting, in-network caching, multipath forwarding, built-in data security, and fast data retrieval. In-network caching is a key feature of NDN architecture. The research problem is that the wrong choice of cache replacement policy increases the delay in the arrival of data

³ Lecturer – Faculty of Informatics Engineering– Department of Network Engineering and Computer Systems – Al Baath University.

⁴ Postgraduate Student (M.A) - Faculty of Informatics Engineering– Department of Network Engineering and Computer Systems – Al Baath University.

packets and increases the network overhead on the data producer. This research particularly focuses on solving the problem of content caching and cache replacement policies, which results in increased data retrieval efficiency and improved quality of service metrics. The contribution of the research is to propose a new cache replacement policy derived from the CCP policy and named the Improved Cache Replacement Policy Based on Content Popularity (ICCP). In making the replacement decision, this proposed policy relies on two important factors that were not taken into consideration before: the congestion factor and the archived content popularity table. Simulation results and performance evaluation using ndnSIM simulator show that the proposed ICCP policy outperforms the PRIORITY-FIFO, LRU, and CCP cache replacement policies in terms of cache hit rate, delay, and network traffic.

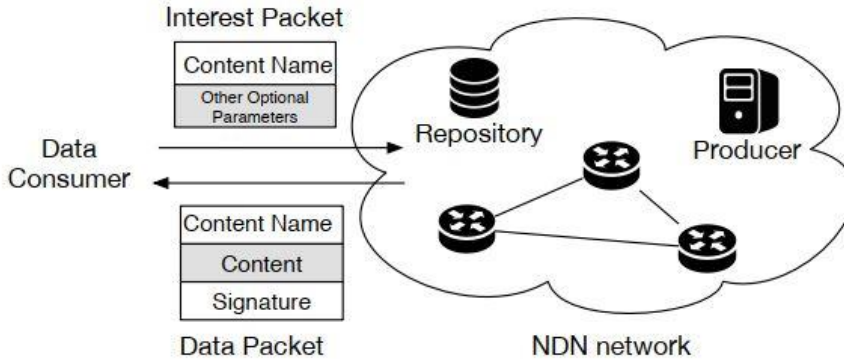
Keywords: Named Data Networking, in-network caching, cache replacement policy, CCP policy.

1- مقدمة

شبكات المعلومات المركزية (ICN) هي بنية إنترنت قائمة على المحتوى تعمل على حل مشكلات التوزيع في شبكات الإنترنت المعتمدة على بروتوكول (TCP/IP). على وجه التحديد، فإن الحاجة إلى حل المشكلات مثل تنقل العقدة وأمن الشبكة وخصوصية البيانات وقابلية توسيع الشبكة والتوجيه متعدد المسارات التي لا تزال تمثل مشكلات صعبة للإنترنت المستند إلى نموذج (TCP/IP)، قد فرضت ظهور العديد من المشاريع البحثية مثل شبكات البيانات المُسمّاة (NDN) التي تعتبر الحل الواعد [1].

في واقع الأمر تكون شبكات البيانات المُسمّاة ذات بنية مُقادة بالمستهلك (Consumer-Driven) وتُركّز على استرداد المحتوى وفقاً لاسمه. إذ أنه يُطلب محتوى، يرسل المستهلك رزمة الاهتمام (Interest Packet)، والتي يتم إعادة توجيهها في الشبكة إلى أن يتم تليبيتها بواسطة مخزن المحتوى (Content Store) لجهاز توجيه NDN، أو عن طريق تطبيق يعمل كمنتج للمحتوى (Content Producer). يتم إرجاع المحتوى إلى المستهلك في رزمة بيانات تتبع المسار العكسي لرزمة الاهتمام [2].

وبتفصيل أكثر، يمكن لرزمة اهتمام واحدة في NDN إحضار رزمة بيانات واحدة مرة أخرى إما من مُنتج البيانات الأصلي، أو من الـ Cache لجهاز التوجيه، أو من مستودع بيانات مخصّص كما في الشكل (1) والذي يشير أيضاً إلى أنّ كلا نوعي الرزم (رزم الاهتمام - رزم البيانات) يحملان اسم البيانات، ولا يحتويان على عنوان أو معلومات عن صاحب الطلب [3].



الشكل (1): عملية إرسال رزمة اهتمام وجلب رزمة بيانات. [3]

2- الهدف من البحث

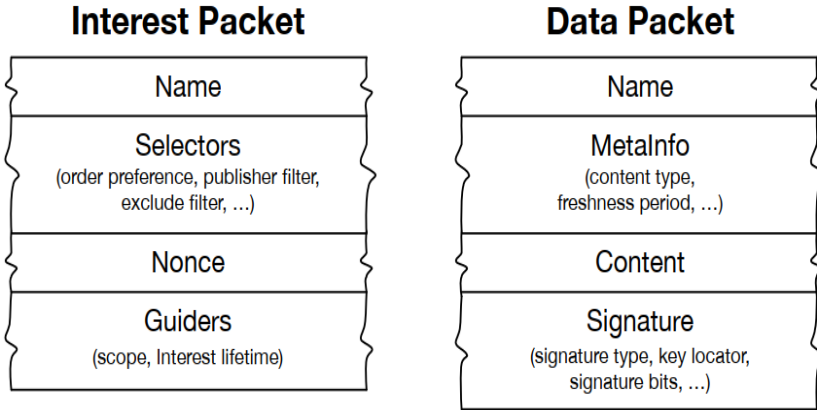
يسعى هذا البحث إلى دراسة معمارية NDN، مبدأ عمل NDN، مقاييس تقييم الأداء في NDN، وبيئة محاكي ndnSIM. بالإضافة إلى ذلك، يهدف البحث إلى دراسة سياسات التخزين المؤقت للمحتوى وسياسات استبدال المحتوى ضمن جهاز توجيه NDN. من ناحية أخرى، يهدف البحث إلى تحسين أداء سياسة استبدال الـ cache بالاعتماد على شعبية المحتوى (CCP) عن طريق أرشفة شعبية المحتوى وأخذ مُعامل الازدحام بعين الاعتبار. في واقع الأمر، سيتم تحقيق ذلك باقتراح سياسة جديدة لاستبدال الـ Cache مُشتقة من سياسة CCP واسمها السياسة المُحسَّنة لاستبدال الـ Cache بالاعتماد على شعبية المحتوى (ICCP).

بالإضافة إلى ذلك، يهدف البحث إلى تحسين أهم مقاييس جودة الخدمة في NDN وهي: مُعدّل إصابة الـ Cache، التأخير، وحركة المرور على الشبكة. في الختام، يتوجّه البحث إلى تقييم ومقارنة أداء سياسة ICCP المُقترحة مُقابل كل من سياسة PRIORITY-FIFO، سياسة LRU، وسياسة CCP عند عدد متغير من مستويات الـ .cache.

3- بنية شبكات البيانات المُسمَّاة

تستخدم NDN في عمليات اتصالها نوعين من الرزم هما: رزمة الاهتمام (interest packet) ورزمة البيانات (data packet). كلا النوعين من الرزم يحملان الاسم الذي يُحدّد البيانات بشكل فريد. يضع المُستهلك اسم البيانات المطلوبة في رزمة الاهتمام ويرسلها إلى الشبكة. يستخدم جهاز التوجيه هذا الاسم لإعادة توجيهها إلى المُنتج أي مالك البيانات [4].

عندما تصل رزمة الاهتمام إلى العقدة التي تحتوي على البيانات المطلوبة، ستعيد العقدة رزمة بيانات تحتوي على الاسم والمحتوى. يوضّح الشكل (2) مكونات رزم الاهتمام ورزم البيانات المُستخدمة في بنية NDN. من ناحيةٍ أخرى، يوجد ثلاثة مُكونات رئيسية في NDN هي: المُستهلك (consumer)، المُنتج (producer)، وجهاز التوجيه (NDN router).

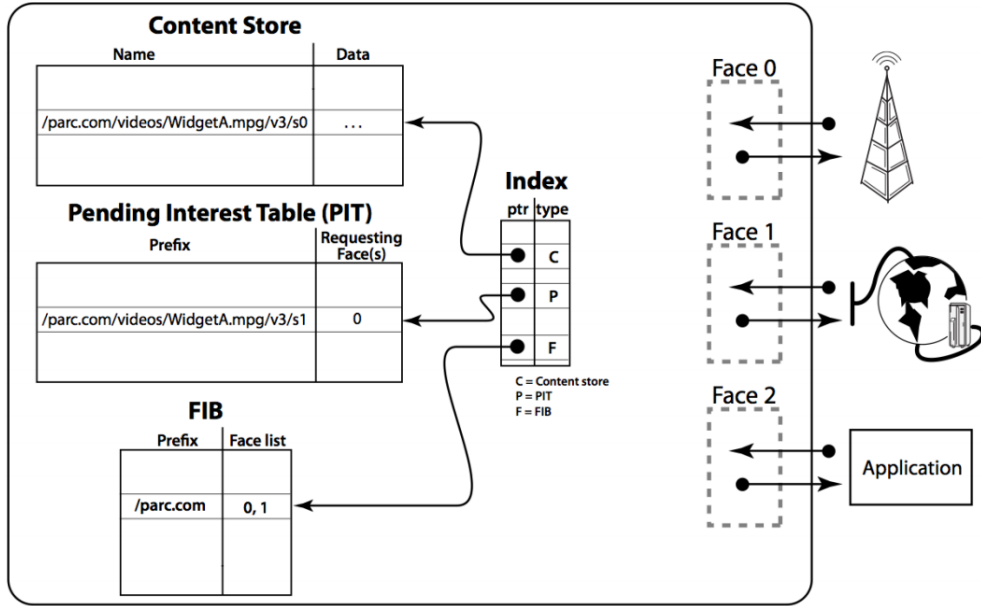


الشكل (2): محتويات رزم الاهتمام/البيانات في بنية NDN. [4]

تحتوي رزمة الاهتمام على معلومات تكون على شكل أسماء تُصبح تمثيلاً لشيء يرغبه المُستهلك من المُنتج. وتحتوي رزمة البيانات على المحتوى المطلوب مع الاسم إضافةً إلى توقيع المُنتج بمفتاحه الخاص.

وبشكل عام وفق [4]، يتكوّن جهاز التوجيه في NDN كما في الشكل (3) من ثلاثة مُكوّنات فاعلة في تنفيذ وظائف إعادة توجيه رزم الاهتمام/البيانات هي:

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



الشكل (3): مكونات جهاز توجيه NDN. [5]

4- التخزين المؤقت في NDN

يُعدّ التخزين المؤقت جزءاً لا يتجزأ من NDN، ولذلك يتم تشجيع أجهزة توجيه NDN على تخزين المحتوى مؤقتاً وتقديم الطلبات اللاحقة للمحتوى من ذاكرات التخزين المؤقت الخاصة بهم. وفي كل مرة يرى جهاز التوجيه رزمة بيانات، يجب أن يقرّر ما إذا كان سيخزّن الرزمة مؤقتاً أم لا. ذلك لأنّه ربما يكون هناك رزمة اهتمام لاحقة تطلب نفس رزمة البيانات التي تم تخزينها مؤقتاً في مخزن المحتوى.

يُمكن أن يقلّل التخزين المؤقت من زمن تأخير الوصول إلى المستهلك ويمكن أن يقلّل التخزين المؤقت أيضاً من الأعباء على مُنتجي البيانات. يُعتبر التخزين المؤقت داخل الشبكة خاصيةً مهمةً في NDN، على اعتبار أنّه يُتيح للعقد الوسيطة أن تقوم بتخزين المحتوى مؤقتاً لتقصير مسارات التوجيه إلى طالب المحتوى وتقليل زمن وصول الرزمة وزيادة توفّر المحتوى وتقليل حركة مرور البيانات على الشبكة والقضاء على نقطة واحدة من الفشل. يعتمد أداء التخزين المؤقت في شبكات NDN على عدّة عوامل مثل: توجيه المحتوى، قرار تخزين المحتوى (سياسة التخزين المؤقت)، قرار استبدال المحتوى (سياسة استبدال الـ Cache)، وعادةً ما يتم قياسه بناءً على مقاييس مثل: معدّل إصابة الـ Cache (CHR)، حركة المرور على الشبكة، متوسط عدد القفزات، والتأخير في تسليم البيانات [6].

4-1 سياسات التخزين المؤقت في NDN

لقد جرت العادة أن تحتوي سياسات التخزين المؤقت في NDN على جزأين هما: قرار التخزين المؤقت (Caching Decision) وقرار استبدال ذاكرة التخزين المؤقت (Decision Cache Replacement). أما الجزء الأول المُتعلّق بقرار التخزين المؤقت، فهو يُعنى بتحديد ما إذا كان سيتم تخزين رزمة البيانات في مخزن المحتوى أو تجاهلها. وبعبارةٍ أخرى، تحتاج العقدة إلى اتخاذ مثل هذا القرار عندما تصل رزمة

البيانات إلى عقدة NDN لا تحتوي على رزمة البيانات في مخزن المحتوى الخاص بها. يجري استعراض سياسات التخزين المؤقت والتي تسعى لاتخاذ قرار التخزين المؤقت في NDN على النحو التالي [16]:

4-1-1 سياسة ترك نسخة في كل مكان (LCE): هي سياسة قرار التخزين المؤقت الأكثر وضوحاً. باستخدام LCE تحاول عُقد NDN تخزين كل رزمة بيانات واردة غير موجودة بالفعل في مخزن المحتوى الخاص بها. توفر سياسة LCE نسخاً متماثلاً سريعاً لجميع رزم البيانات المتاحة عبر الشبكة. ونظراً لبساطتها، تُستخدم على نطاق واسع في NDN وتؤدي إلى زيادة التكرار (redundancy) خصوصاً في الشبكات المترابطة بقوة. للأسف يمكن أن يؤدي هذا التكرار إلى الإضرار بكفاءة التخزين المؤقت الإجمالية للشبكة.

4-1-2 سياسة ترك نسخة في الأدنى (LCD): تقوم العُقد المزودة بسياسة التخزين المؤقت LCD دائماً بتخزين رزم البيانات مؤقتاً في العقدة الأولى لتلقي البيانات فقط. حيث أن "العقدة الأولى" هي الفقرة التالية من العقدة حيث حدثت عملية إصابة الـ Cache تجاه المستهلك.

يتم اختيار سياسة التخزين المؤقت LCD عندما تُريد الشبكة تحسين تنوع التخزين المؤقت دون إدخال اتصال معقد في عملية التخزين المؤقت. تميل سياسة LCD إلى إبقاء رزم البيانات قريبة من المنتج في عملية الاسترجاع، ويمكن للنسخة المحفوظة أن تُخفف الجمل على المنتج طالما بقيت على مسار استرداد البيانات.

4-1-3 سياسة التخزين المؤقت الاحتمالي الثابت (Static Probabilistic Caching):

عندما يستقبل جهاز التوجيه رزمة بيانات، فإنه يولد رقماً عشوائياً بين 0 و 1. إذا كان الرقم الذي تم إنشاؤه أصغر من الاحتمال المُحدد مسبقاً P ، فإن جهاز التوجيه يحفظ

الرزمة في مخزن المحتوى الخاص به. وإلا فلا يقوم جهاز التوجيه بتخزين هذه الرزمة مؤقتاً، بل يقوم بإعادة توجيهها إلى المستهلك. ونظراً لأنه لا يتم تخزين كل رزمة بيانات مؤقتاً في كل جهاز توجيه، فإن تنوع الـ Cache مع التخزين المؤقت الاحتمالي عبر الشبكة سيكون بالتأكيد أعلى من ذلك الموجود في LCE.

لنفترض أن n هو عدد المرات التي تتلقى فيها العقدة نفس رزمة البيانات، فإن احتمالية التخزين المؤقت في تلك العقدة هي $(1 - P)^n - 1$ و سينتج عن P الأدنى تنوع أكبر في الـ Cache، ويمكن التعامل مع LCE كحالة خاصة للتخزين المؤقت الاحتمالي مع $P = 1$.

وأما الجزء الثاني المتعلق بقرار استبدال الـ Cache فهو يتمثل في تحديد كيفية اختيار الرزم التي يجب استبدالها عندما يصل جهاز التوجيه إلى قمة سعته. يجري فيما يلي استعراض بعض سياسات استبدال الـ Cache شائعة الاستخدام:

4-1-4 سياسة الداخل أولاً يخرج أولاً (FIFO): هي سياسة استبدال الـ Cache الافتراضية في NDN. فيها يتم استبدال المحتوى الذي وصل أولاً (أقدم محتوى في الـ Cache) بالمحتوى الذي وصل مؤخراً داخل مخزن المحتوى.

4-1-5 سياسة الأقل استخداماً مؤخراً (LRU): هي سياسة استبدال ذاكرة تخزين مؤقت أخرى مدعومة أصلاً بواسطة المحاكي ndnSIM. تستبدل سياسة LRU البيانات بناءً على وقت استخدام المحتوى، أي أنّ البيانات التي لم يتم استخدامها لأطول وقت يتم استبدالها. يمكن القول إنه في سياسة LRU، يختار جهاز التوجيه دائماً المحتوى الذي يكون الطلب عليه حديثاً أقل ما يمكن.

4-1-6 سياسة الأقل استخداماً (LFU): يتم في سياسة LFU تتبّع عدد المرات التي تم فيها طلب المحتويات الموجودة في الـ Cache وطرد العناصر الأقل شيوعاً.

4-1-7 سياسة الاستبدال العشوائي (RR): باعتبارها أقل سياسات استبدال الـ Cache الأساسية تعقيداً، تقوم RR ببساطة بإخلاء كائنات المحتوى عشوائياً في كل مرة تحتاج فيها إلى استبدال المحتوى.

4-1-8 سياسة استبدال الـ Cache بالاعتماد على شعبية المحتوى (CCP): سيتم وصف طريقة حساب شعبية المحتوى وسياسة CCP بالتفصيل أدناه وفقاً للدراسة [7].

طريقة حساب شعبية المحتوى: تُضيف سياسة CCP بُنية بيانات جديدة هي جدول شعبية المحتوى، حيث يتم العمل فيه على أساس الاحتفاظ بما يلي: CS, PIT, FIB. يُستخدَم جدول شعبية المحتوى لحفظ قيمة عدد مرات إصابة الـ Cache وقيمة شعبية المحتوى (Content Popularity).

يحتفظ جدول شعبية المحتوى بجميع المعلومات حول شعبية المحتوى المخزنة في CS، بما في ذلك اسم المحتوى، عدد مرات إصابة الـ Cache، والشعبية السابقة والشعبية الحالية. عندما تنتهي دورة العد (Counting Cycle)، يمكننا الحصول على ترتيب شعبية المحتوى من خلال قيمة عدد مرات إصابة الـ Cache الحالية والشعبية السابقة. ثم يمكننا تحديد سياسة استبدال الـ Cache بناءً على ترتيب الشعبية.

يتم وصف صيغة حساب شعبية المحتوى على النحو التالي [7]:

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

$$\alpha = 1 + c * T \quad (2)$$

كما في المعادلات (1) و (2)، تشير $P[i]$ إلى شعبية المحتوى المُخزَّن مؤقتاً، أما $N[i]$ فتشير إلى عدد مرات إصابة الـ Cache في دورة العد الحالية. $\alpha > 1$ هو معامل الوزن (Weight coefficient) لشعبية المحتوى. من (2)، يمكننا أن نرى علاقة ارتباط موجبة بين α ودورة العد T .

يشير c إلى المعامل النسبي (relative coefficient) لـ α و T . حيث تشير الدراسة

$$[7] \text{ لتعيين قيمتهم بـ } c = 0.5 \text{ و } T = 8$$

من خلال توسيع المعادلة (1)، يمكننا الحصول على المعادلة (3) أدناه. نرى بوضوح أنه مع مرور الوقت، يكون للنتيجة السابقة لعدد مرات إصابة الـ Cache تأثير أقل بكثير على شعبية المحتوى، مما يعكس بشكل أفضل شعبية المحتوى للشبكة الحالية.

$$\begin{aligned} P[i + 1] &= \frac{N[i] * \alpha + P[i]}{(\alpha + 1)} \\ &= \frac{N[i] * \alpha}{(\alpha + 1)} + \frac{N[i - 1] * \alpha}{(\alpha + 1)^2} + \frac{N[i - 2] * \alpha}{(\alpha + 1)^3} \\ &+ \dots \end{aligned} \quad (3)$$

آلية الاستبدال في سياسة CCP: إن عملية توجيه المحتوى تُحدّد حالة سياسة استبدال الـ Cache وفقاً لحجم المساحة المتبقية للمخزن الحالي. فعندما يستقبل جهاز التوجيه رزمة بيانات لم يتم تخزينها، فإنه يحتاج إلى حساب الفرق بين القيمة الحالية لحجم الـ Cache وعدد المحتويات المخزنة في الـ Cache للحصول على الحجم المتبقي من مساحة الـ Cache. فإذا كانت رزمة البيانات أكبر من المساحة المتبقية، فسيتم الاستبدال. اعتماداً على سياسة CCP، سيتم استبدال المحتوى ذو الشعبية الأقل وسيتم حذف سجله من جدول شعبية المحتوى في نفس الوقت، ثم سيتم تخزين المحتوى الذي وصل مؤخراً في مخزن المحتوى وإعداد سجله الخاص في جدول شعبية المحتوى.

5- الدراسات المرجعية

قام (Antonio وآخرون) في [6] بدراسة وتقييم أداء سياسات استبدال الـ Cache في طوبولوجيا الشبكة مع عدد متغير من مخازن المحتوى. على وجه التحديد، تم تقييم أداء سياسة الأقل استخداماً مؤخراً (LRU)، سياسة الأقل استخداماً (LFU)، سياسة الداخل أولاً يخرج أولاً (FIFO)، وسياسة الاستبدال العشوائي (RR). وقد تم إعداد 7

سيناريوهات مختلفة بحيث تكون أجهزة التوجيه مجهزة بمخازن المحتوى على المستويات التالية: 100% أو 80% أو 50% أو 40% أو 30% 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 LFU هي ذات الأداء الأفضل بين السياسات المدروسة من حيث جميع المقاييس المستخدمة لتقييم الأداء.

قام (Saad) في [1] باقتراح سياسة جديدة لاستبدال محتوى الـ Cache تُدعى السياسة المحسَّنة لاستبدال الـ Cache بالاعتماد على الزمن والتردد (ETFCR) ليتم بعد ذلك مقارنة وتقييم أداء السياسة المُقترحة مع كل من سياسة CCP، سياسة LRU، وسياسة LFU عند سبعة أحجام مختلفة من الـ Cache. السياسة المُقترحة هي عبارة عن تحسين لسياسة LFU من خلال أخذ معامل الدورة الزمنية بين الطلبين الأخيرين للمحتوى بعين الاعتبار، والذي يتناسب عكساً مع عدد مرات إصابة الـ Cache. المقاييس المستخدمة لتقييم الأداء هي: CHR، عدد القفزات، زمن جلب المحتوى، حركة المرور على الشبكة، والحمل على الخادم. لقد تم إجراء سيناريوهات المحاكاة على طوبولوجيا معروفة باسم شبكة GÉANT وهي شبكة مكونة من 42 عقدة. استنتج الباحث (وذلك بالنسبة لجميع المقاييس المستخدمة في هذه الدراسة) أن سياسة ETFCR المُقترحة هي ذات الأداء الأفضل بين السياسات المدروسة.

قام (Ding وآخرون) في [7] باقتراح سياسة جديدة لاستبدال محتوى الـ Cache تُدعى سياسة استبدال محتوى الـ Cache بالاعتماد على شعبية المحتوى (CCP) ليتم بعد ذلك

مقارنة وتقييم أداء السياسة المقترحة CCP مع كل من سياسة LRU وسياسة LFU عند سبعة أحجام مختلفة من الـ Cache بقصد ملاحظة كفاءة الـ Cache. السياسة المقترحة تقوم بحساب شعبية المحتوى عن طريق إضافة بُنية بيانات جديدة تُدعى جدول شعبية المحتوى (Content Popularity Table) بالإضافة لمعامل الوزن لشعبية المحتوى ويتم تحديث قيمة شعبية المحتوى بعد كل دورة عدّ محددة تُسمى دورة تحديث الـ Cache. يحتوي جدول شعبية المحتوى على قيمة عدد مرات إصابة الـ Cache وعلى قيمة الشعبية الحالية وقيمة الشعبية السابقة لكل محتوى. عندما يكون مخزن المحتوى ممتلئاً، سيتم استبدال المحتوى ذو الشعبية الأقل وتخزين المحتوى الذي وصل مؤخراً وإعداد سجلّه الخاص في جدول شعبية المحتوى. أما بالنسبة للمقاييس المستخدمة لتقييم الأداء فهي: CHR، حركة المرور على الشبكة، والحمل على الخادم. لقد تم إجراء سيناريوهات المحاكاة على طوبولوجيا مكونة من 20 عقدة واستنتج الباحثون أن سياسة CCP المقترحة هي ذات الأداء الأفضل بين السياسات المدروسة.

قام (Saad و Basmah) في [8] باقتراح سياسة جديدة لاستبدال محتوى الـ Cache تُدعى سياسة الأقل استخداماً مؤخراً المعتمدة على عدد القفزات (HLRU). السياسة المقترحة هي نسخة معدّلة من سياسة LRU تعتمد على عدد القفزات التي تقطعها رزمة البيانات من المُنتج حتى تصل إلى العقدة التي طلبت البيانات وتعتمد أيضاً على ما إذا تم طلب رزمة البيانات مؤخراً أم لا. يستند قرار الاستبدال في سياسة HLRU إلى قيمة إجمالية TotalValue تساوي مجموع قيمتين هما: عدد القفزات Hops وعدد مرات استخدام المحتوى Value. بالتالي المحتوى الذي تكون له قيمة TotalValue أعلى سيبقى مُخزناً (أي أنه لا يزال مطلوباً)، أما المحتوى الذي تكون له قيمة TotalValue أقل سيتم استبداله بالمحتوى الذي وصل مؤخراً (أي أنه لم يعد مطلوباً). تم مقارنة وتقييم أداء السياسة المقترحة HLRU مع كل من سياسة LRU وسياسة TTL. أما بالنسبة

للمقاييس المستخدمة لتقييم الأداء فهي: CHR، عدد القفزات، زمن التحميل، وعدد عمليات الإخلاء. تم إجراء سيناريوهات المحاكاة على طوبولوجيا مكونة من 63 عقدة وأشارت النتائج إلى أنَّ سياسة HLRU هي ذات الأداء الأفضل بين السياسات المدروسة من حيث جميع المقاييس المدروسة.

قام (Nana وآخرون) في [9] باقتراح سياسة جديدة لاستبدال محتوى الـ Cache وهي سياسة الأقل تكراراً واستخداماً مؤخراً (LRFU)، ليتم بعد ذلك مقارنة وتقييم أداء السياسة المقترحة مع كل من سياسة LRU وسياسة Priority-FIFO. السياسة المقترحة تعتمد في اتخاذ قرار الاستبدال على دمج مُعاملين هما: عدد مرات (تكرار) طلب المحتوى وزمن استخدام المحتوى، واستناداً إلى ذلك يتم تعيين ما يُسمى بقيمة تكرار وحدّثة مُشتركة (CRF) لكل رزمة بيانات يطلبها المُستهلك. المقاييس المستخدمة لتقييم الأداء هي: CHR ومعدل إخفاق الـ Cache. تم إجراء سيناريوهات المحاكاة على طوبولوجيا مكونة من 9 عقد وأخرى مكونة من 16 عقدة وأخرى مكونة من 25 عقدة عند مستويات مختلفة من الـ Cache وأظهرت النتائج أن سياسة LRFU المقترحة تتفوق على كل من سياستي الاستبدال التقليديتين LRU و Priority-FIFO من حيث جميع المقاييس المدروسة.

قامت (Samar وآخرون) في [10] بدراسة وتقييم أداء سياسات استبدال محتوى الـ Cache المختلفة وهي سياسة FIFO، سياسة LRU، وسياسة استبدال الـ Cache العالمية (UC). لقد تمَّ اقتراح سياسة استبدال الـ Cache العالمية في [11] من قبل (Bighnaraj وآخرون) بهدف تقليل كلفة جلب المحتوى وتقليل مُعدّل استهلاك الموارد بحيث تكون أكثر تكيفاً مع NDN ومع أنواع مختلفة من حركة مرور البيانات على الشبكة. إنّ سياسة UC تعتمد في اتخاذ القرار على نظام اسمه نظام قياس المحتوى

(CMS) لتعيين مقياس لكل محتوى (رزمة بيانات) يصل إلى عقدة NDN. ويتم حساب قيمة CMS لكل محتوى بالاعتماد على المُعاملات التالية: أكبر عدد قفزات ممكن للوصول إلى مصدر المحتوى، أكبر عدد مرات وصول إلى مصدر المحتوى، مُعدّل إمكانية الوصول إلى المحتوى، وأولوية المستخدم. عندما يكون مخزن المحتوى ممتلئ يتم إخراج المحتوى ذو قيمة CMS الأقل وتخزين المحتوى الذي وصل حديثاً. المقاييس المستخدمة لتقييم الأداء هي: CHR ومتوسط عدد القفزات. تم إجراء سيناريوهات المحاكاة على طوبولوجيا مكونة من 11 عقدة وأخرى مكونة من 27 عقدة عند مستويات مختلفة من الـ Cache وأظهرت النتائج أن سياسة UC هي ذات الأداء الأفضل بين السياسات المدروسة من حيث جميع المقاييس.

قام (YingQi Li وآخرون) في [12] باقتراح سياسة جديدة لاستبدال محتوى الـ Cache ألا وهي سياسة استبدال الـ Cache المُعتمِدة على الشعبية الهرمية، ليتم بعد ذلك مقارنة وتقييم أداء السياسة المُقترحة مع كل من سياسة FIFO، سياسة LRU، وسياسة LFU. السياسة المُقترحة تفترض أن مُعامل الشعبية لا يمكن أن يتم تقسيمه ببساطة إلى شعبي وغير شعبي فقط، بل عوضاً عن ذلك تقوم بتقسيم شعبية المحتوى إلى خمسة مستويات من PL1 وحتى PL5 بحيث ينتمي كل محتوى إلى مستوى شعبية واحد فقط، مما يسمح لعدّة محتويات أن تنتمي لنفس مستوى الشعبية. عندما تكون الـ Cache ممتلئة يتم استبدال المحتوى الأقل شعبية وذلك بالبحث تدرجياً في قائمة مستوى الشعبية PL5 (الأقل شعبية)، فإذا كانت فارغة يتم البحث في قائمة مستوى الشعبية PL4، وهكذا حتى الوصول إلى مستوى الشعبية PL1 (الأكثر شعبية). أمّا بالنسبة للمقياس المستخدم لتقييم الأداء فهو معدل إصابة الـ Cache. تم إجراء سيناريوهات المحاكاة على طوبولوجيا مكونة من 25 عقدة وأظهرت نتائج المحاكاة أن سياسة استبدال الـ Cache المُعتمِدة

على الشعبية الهرمية تتفوق على كل من سياسة FIFO، سياسة LRU، وسياسة LFU من حيث CHR.

في الحقيقة، إنَّ أهم ما يميِّز هذا البحث عن غيره من الأبحاث هو اقتراح سياسة مُحسَّنة لاستبدال الـ Cache تم اشتقاقها من سياسة CCP لتعتمد في اتِّخاذ قرار الاستبدال على مُعاملين لم تأخذهما الدراسات المرجعيَّة سابقاً بعين الاعتبار، وهما: معامل الازدحام (Congestion) ومُعامل جدول شعبية المحتويات المؤرشفة (Archived Content Popularity Table). وبالاستناد إلى هذين المعيارين عند اتخاذ قرار الاستبدال سنحصل على مُعادلة جديدة لحساب شعبية المحتوى. هذه المعادلة الجديدة هي عبارة عن معادلة مُشتقة من معادلة حساب شعبية المحتوى في سياسة CCP. عندها سنقوم بسياسة الاستبدال المُقترحة باستبدال المحتوى ذو الشعبية الأقل.

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

مما لا شكَّ فيه أنَّ الهدف من سياسة الاستبدال المُقترحة هو تحسين مفهوم التخزين المؤقت داخل NDN. هناك اتِّفاق في الدراسات المرجعية على أنَّ أداء سياسة الاستبدال يرتبط ارتباطاً وثيقاً بمُعاملات قرار الاستبدال، على سبيل المثال: زمن وصول المحتوى، جدول شعبية المحتوى، عدد مرات طلب المحتوى، وغيرها الكثير من المعاملات الأخرى. من الواضح أنَّ استخدام معاملات مختلفة عن تلك المستخدمة في الأعمال السابقة عند اتخاذ قرار الاستبدال هو جَوْهر هذا العمل. وهذا بواقع الأمر ما تمَّ الاعتماد عليه عند تحقيق سياسة ICCP.

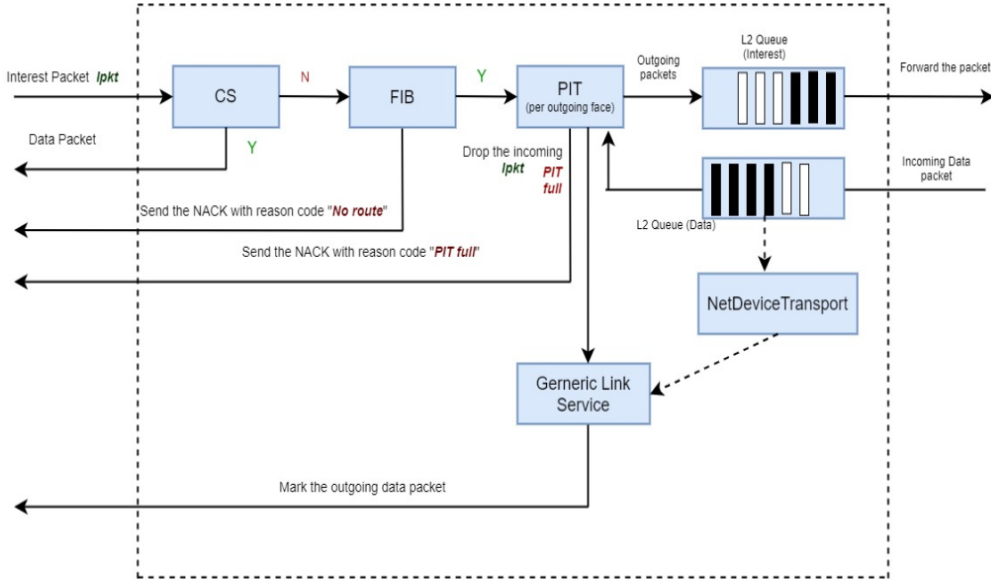
6-1 كشف الازدحام

يتم كشف الازدحام من خلال مراقبة حجم PIT وأرتال الانتظار عند الواجهات الصادرة لكل من رزم الاهتمام ورزم البيانات. وبما أنَّ حجم PIT محدود، فبمجرد امتلاء PIT

يرسل جهاز التوجيه إشعار NACK مع رمز السبب وهو "PIT FULL". بعد تلقّي إشعار NACK، تقوم أجهزة التوجيه المتلقية (المستهلك) بالتحقق أولاً من رمز سبب الخطأ الخاص برزمة NACK، إذا كان "PIT FULL"، فإنها تبحث عن مسارات بديلة. وإذا كان هناك مسار مُتاح، فإن جهاز توجيه NDN يعيد توجيه رزم الاهتمام إلى هذا المسار. وبخلاف ذلك، فإنه يرسل إشعار NACK إلى أجهزة التوجيه المتلقية (المستهلك). وحالما يحصل المستهلك على NACK، يبدأ في خفض معدل رزم الاهتمام المرسل [13].

يتم استخدام العلامة (flag) كمتغير لمقارنة زمن الإقامة مع تأخير الهدف (القيمة الافتراضية: 5 ملي ثانية). إذا أصبح زمن الإقامة أكبر من تأخير الهدف، يتم تعيين flag=1. وبملاحظة الشكل (4) قبل إرسال رزمة البيانات، تراقب وحدة الارتباط العامة (General Link Service Module) للواجهة قيمة العلامة المُستلمة من وحدة (NetDeviceTransport).

إذا كانت قيمة العلامة تساوي 1 للفاصل الزمني المُحدّد مسبقاً لعلامات الازدحام (وهو افتراضياً 100 ملي ثانية)، فسيتم تعيين "CongestionMarkTag"=1 لرزمة البيانات الخارجة. عندما يتلقّى المستهلك رزمة بيانات، فإنه يتحقق أولاً من حقل "CongestionMarkTag" في رزمة البيانات. فإذا كان 1، عندها يقوم بتخفيض مُعدل إرسال رزم الاهتمام.



الشكل (4): كشف الازدحام وإرسال الإشعار. [13]

2-6 جدول شعبية المحتويات المؤرشفة

هو 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.

الهدف من جدول شعبية المحتويات المؤرشفة هو الحصول على معلومات عن محتوى كان موجود سابقاً في مخزن المحتوى ليتم الاستفادة منها عند تلقّي المحتوى مرة أخرى من قبل عقدة NDN حيث سيتم أخذ شعبيته السابقة وعدد مرات إصابة الـ Cache بعين الاعتبار كما يوضح الجدول (1)، ثم سيتم حساب شعبية هذا المحتوى مرة أخرى بالاعتماد على شعبيته القديمة وتخزين اسمه في جدول شعبية المحتوى ومن ثم إعادة تخزينه في مخزن المحتوى.

الجدول (1): مثال عن جدول شعبية المحتويات المؤرشفة.

Content Name	Archived Popularity	Archived Cache Hit
/campus/images/v1.mpg	18	20
/campus/images/v2.mpg	16	15
/campus/music/m1.mp3	28	30

6-3 آلية عمل سياسة ICCP

عندما تستلم عُقدة 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.

يتم تقديم قائمة الازدحام على أنها قائمة 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 يتم تعريف 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 كان موجوداً 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:

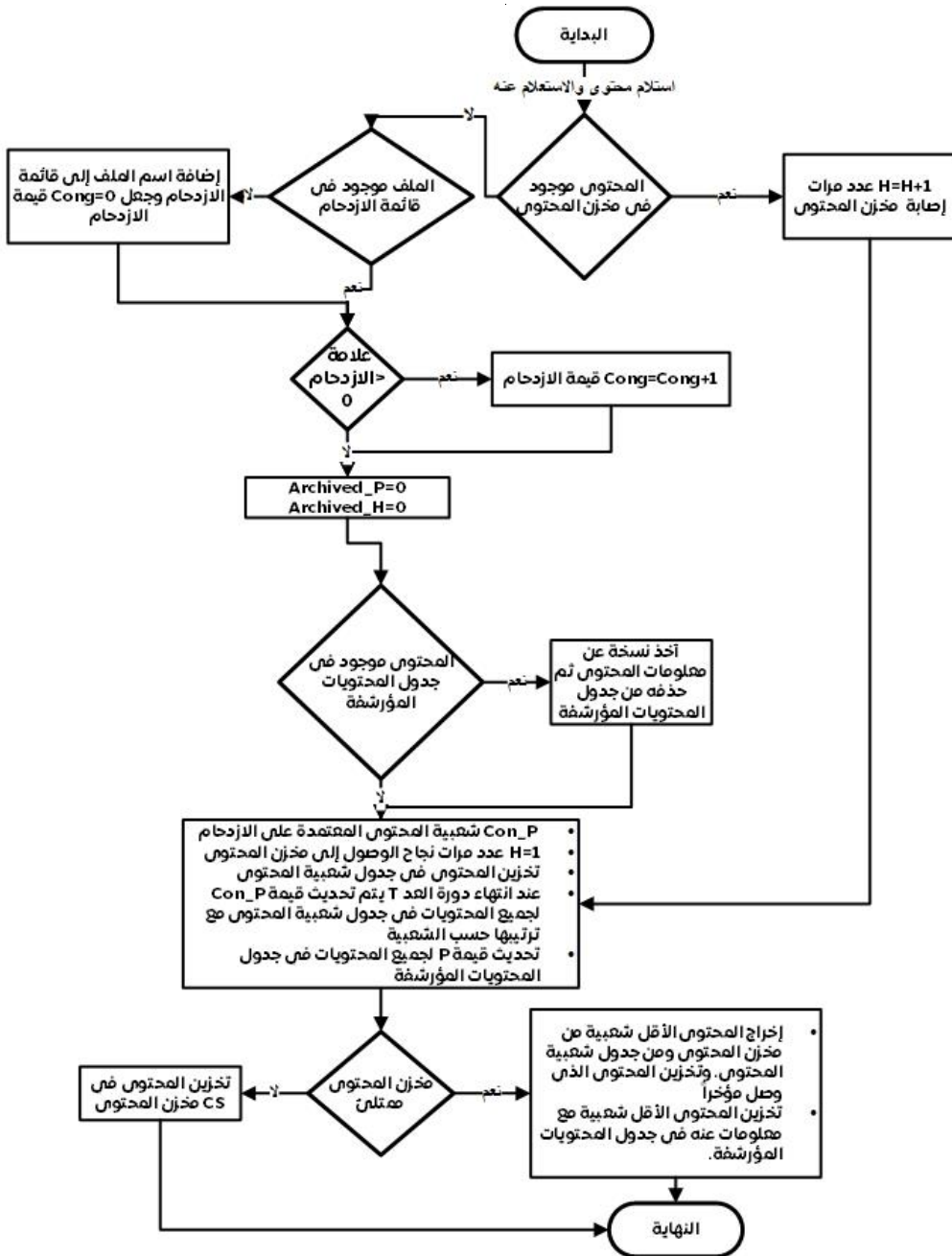
- حساب شعبية المحتوى المعتمدة على الازدحام Con_P حيث يتم تعريف شعبية المحتوى المعتمدة على الازدحام وفق المعادلة المقترحة كما يلي:

$$Con_P[i + 1] = \frac{(N[i] * \alpha + P[i]) * 0.5}{(\alpha + 1) + (0.5 * congestion)} \quad (4)$$

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

إذا انتهت دورة العد T أو ما يُسمى دورة تحديث الـ Cache ننقل إلى الخطوة التالية أما إذا لم تنته دورة العد نكرر ما سبق لمحتوى جديد. عند انتهاء دورة العد يتم تحديث قيمة شعبية المحتوى المعتمدة على الازدحام لجميع المحتويات الموجودة في جدول شعبية المحتوى ومن ثم يتم ترتيبها وفق قيمة الشعبية. بعد ذلك يتم تحديث قيمة شعبية المحتوى لجميع المحتويات الموجودة في جدول المحتويات المؤرشفة وفق المعادلة (1) المُستخدمة في سياسة CCP. يجري في الشكل (5) عرض المُخطط الصندوقي للسياسة المقترحة ICCP.

في النهاية، تقوم سياسة ICCP بالتحقق ما إذا كان مخزن المحتوى مُمتلئ أم لا. فإذا كان مخزن المحتوى غير مُمتلئ ولم يتجاوز سعته، عندها يتم تخزين هذا المحتوى مباشرةً في مخزن المحتوى



الشكل (5): المخطط الصندوقي لسياسة ICCP.

أما إذا كان مخزن المحتوى مُمتلئ عندها يتم إخراج المحتوى الأقل شعبية من مخزن المحتوى ومن جدول شعبية المحتوى وتخزين المحتوى الذي وصل مؤخراً بدلاً عنه ومن ثمَّ أرشفة المحتوى الذي تم إخرجه عن طريق تخزينه في جدول شعبية المحتويات المؤرشفة.

7- محاكي ndnSIM

هو محاكي مفتوح المصدر لمعمارية NDN تمَّ تطويره بالاعتماد على محاكي الشبكات NS-3 من أجل تحقيق مكونات NDN على شكل وحدات (Modular Way) باستخدام مجموعة صفوف مكتوبة بلغة C++ لنمذجة سلوك كل مُكوّن من مكونات معمارية NDN مثل: المُنتج، المُستهلك، PIT، FIB، CS، وما إلى ذلك. إنَّ هذه البنية المُنفذة على شكل وحدات تسمح بتعديل أي مُكوّن أو استبداله بسهولة دون التأثير على المُكونات الأخرى. بالإضافة لذلك، يوفّر هذا المحاكي مجموعة واسعة من الأدوات والواجهات لتتبع سلوك كل مكون من مكونات الشبكة وأيضاً لمراقبة تدفق حركة مرور البيانات (Traffic Flow).

بواقع الأمر، لقد تم تصميم محاكي ndnSIM كبروتوكول مستقل يمكن تنصيبه خلال عملية المحاكاة على أي عقدة في الشبكة، وهو يتضمّن عدّة صفوف مثل الصف helper الذي يساعد في إنشاء سيناريوهات المحاكاة وتنصيب التطبيقات على العقد الشبكية [14].

8- إعداد بيئة المحاكاة

سيتم إنشاء طوبولوجيا أولى معروفة باسم شبكة أبيلين (Abilene Network) * وهي شبكة مكونة من 11 جهاز توجيه كما في الشكل (6) حيث يتم تنصيب المُستهلكين على 10 عقد بينما سيتم اختيار أحد العقد لتنصيب المُنتج الوحيد عليها.

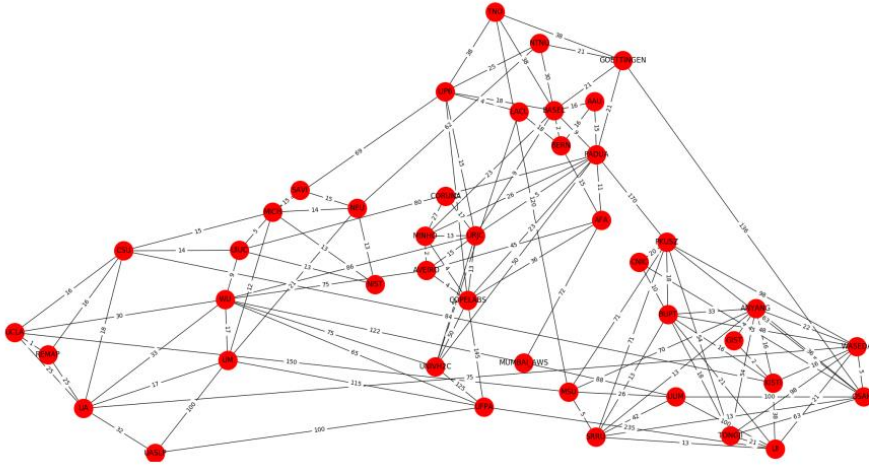
*شبكة يتم استخدامها لأغراض البحث والمحاكاة تكون مكونة من 11 عقدة و 14 وصلة فيما بينها.



الشكل (6): طوبولوجيا شبكة أبلين. [6]

أيضاً سيتم إنشاء طوبولوجيا ثانية معروفة باسم شبكة اختبار NDN أو شبكة جيانث (GÉANT Network) ** وهي شبكة مكونة من 42 جهاز توجيه كما في الشكل (7) حيث يتم تنصيب المُستهلكين على 41 عقدة بينما يتم اختيار أحد العقد لتنصيب المُنتج الوحيد.

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



الشكل (7): طوبولوجيا شبكة جيانث. [6]

عطفًا على ما سبق، يتم إجراء المحاكاة بحيث يكون عدد رزم الاهتمام التي يرسلها المُستهلك يساوي 100 رزمة/الثانية ومدة المحاكاة 240 ثانية. كما يتم إعداد 7 سيناريوهات مختلفة بحيث تكون أجهزة التوجيه مجهزة بمخازن المحتوى على المستويات التالية: 100% أو 80% أو 50% أو 40% أو 30% أو 20% أو 5%. حيث أن العدد المتغير لمخازن المحتوى سيؤفّر رؤية أكثر عمومية لأداء الشبكة وسيختبر أداء سياسات استبدال الـ Cache ضمن بيئة شبكية متغيرة (مثل فشل عقدة أو تقييد حجم مخزن المحتوى داخل عقدة). بالإضافة لذلك، يكون حجم مخزن المحتوى هو 1000 محتوى ويوجد 1000 نوع مختلف من المحتوى يولِّده المُنتج. ويطلب المستهلكون المحتوى باتباع نموذج (Zipf–Mandelbrot) * مع عامل نمذجة $\alpha = 1.1$ [15]. يتم استخدام استراتيجية أفضل مسار (best route) كاستراتيجية إعادة توجيه. كما يتم استخدام سياسة LCD كسياسة التخزين المؤقت الافتراضية.

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

الجدول (2): معلّات المحاكاة التي تم وفقها تقييم الأداء.

مُعَمّ 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	Zipf-Mandelbrot
عامل النمذجة	$\alpha = 1.1$
استراتيجية إعادة التوجيه	Best Route
سياسة التخزين المؤقت	LCD
مدّة المحاكاة	240 ثانية

9- مقاييس تقييم الأداء

استخدام هذا البحث خمسة مقاييس لتقييم الأداء، وقد تم بالفعل أخذها بعين الاعتبار

أثناء مناقشة نتائج المحاكاة. يجري التعرّف على هذه المقاييس كما يلي [6]:

معدّل إصابة الـ Cache (CHR): هو مقياس لفعاليّة أداء التخزين المؤقت، ويمكن

تعريفه على أنه النسبة المئوية لطلبات المحتوى التي يمكن تلبيتها بواسطة الـ Cache

بدلاً من الاضطرار إلى تلبيتها من مكان تخزينها الأصلي. يمكن حساب CHR من

المعادلة التالية:

Cache Hit Rate

$$= \frac{\sum hit}{\sum(hit + miss)} * 100\% \quad (5)$$

$\sum hit$ مجموع عدد مرات إصابة الـ Cache.

$\sum(hit + miss)$ المجموع الكلي لعدد مرات إصابة وإخفاق الـ Cache.

حركة المرور على الشبكة (Network Traffic): مقياس يعبر عن كمية رزم الاهتمام

ورزم البيانات (الداخلة إلى العقد والخارجة منها) التي تتحرك عبر الشبكة.

تأخير الاسترداد (Retrieval Delay): مقياس يعبر عن التأخير بين وقت إصدار

الطلب ووقت استلام المحتوى المقابل (بما في ذلك وقت إعادة الإرسال)، أي أنه التأخير الكامل في تسليم البيانات.

عدد القفزات إلى المنبع (Number of Upstream Hops): هو مقياس يشير إلى

عدد القفزات المطلوبة للوصول للمحتوى المخزن مؤقتاً في الـ Cache.

عدد عمليات إعادة إرسال رزم الاهتمام (Interest Retransmission): مقياس

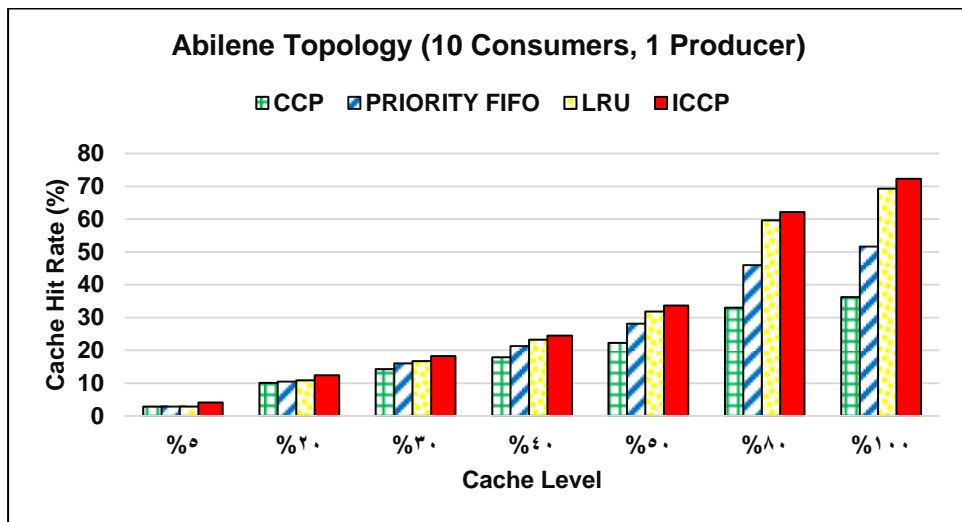
يعبر عن عدد عمليات إعادة إرسال رزم الاهتمام في حال إخفاق الوصول إلى الـ Cache (Cache Miss).

10- النتائج والمناقشة

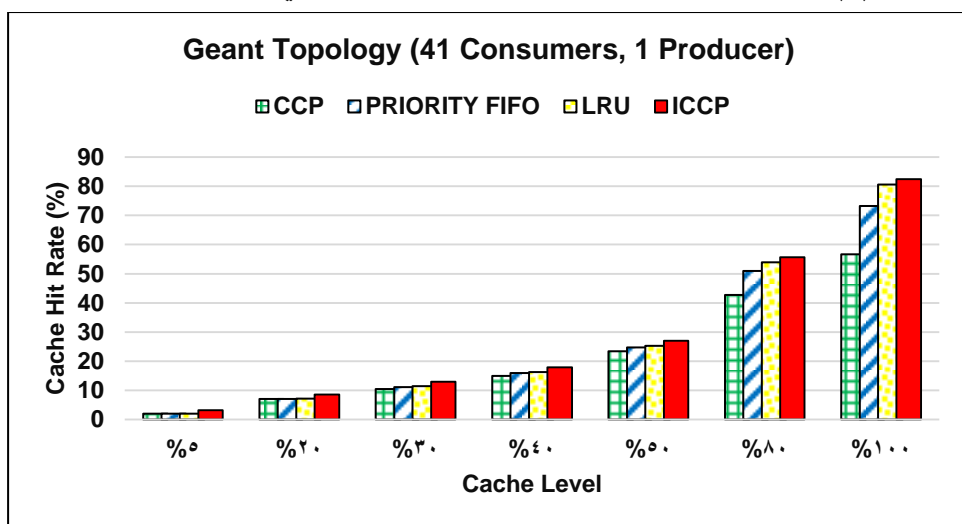
يُعرض هذا القسم جميع عمليات المحاكاة التي تم إجراؤها مقرونة بالرسومات البيانية للنتائج التي توصل إليها البحث. مع العلم أن مناقشة النتائج ستتم وفق كل مقياس من المقاييس المشار إليها في الدراسة [6].

10-1 مُعدّل إصابة الـ Cache (CHR)

أظهرت نتائج المحاكاة كما في الشكل (8) والشكل (9) أنّ سياسة استبدال ذاكرة التخزين المؤقت المُقترحة ICCP تكون ذات أداء أفضل من السياسات الأخرى الموجودة ضمن محاكي ndnSIM، ويمكن ملاحظة 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 (8): CHR مقابل نسب مختلفة من مخزن المحتوى في طوبولوجيا Abilene

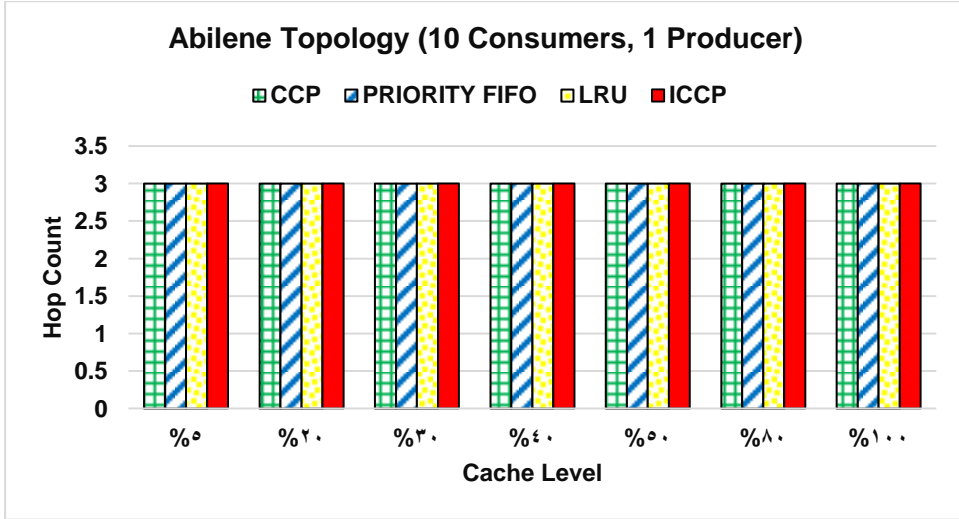


الشكل (9): CHR مقابل نسب مختلفة من مخزن المحتوى في طوبولوجيا Geant
الجدير بالذكر أنه عندما يكون عدد مخازن المحتوى قليل فإنه يتم ملء المخزن المتاح بسرعة، وبالتالي يحدث استبدال ذاكرة التخزين المؤقت بشكل متكرر. لذلك إن حجم مخزن المحتوى يلعب دوراً حيوياً في حجم النتائج المحققة. لقد تم الاتفاق على أنّ سياسة LRU تعتمد فقط على وقت وصول المحتوى لاتخاذ قرار الاستبدال، أما سياسة ICCP

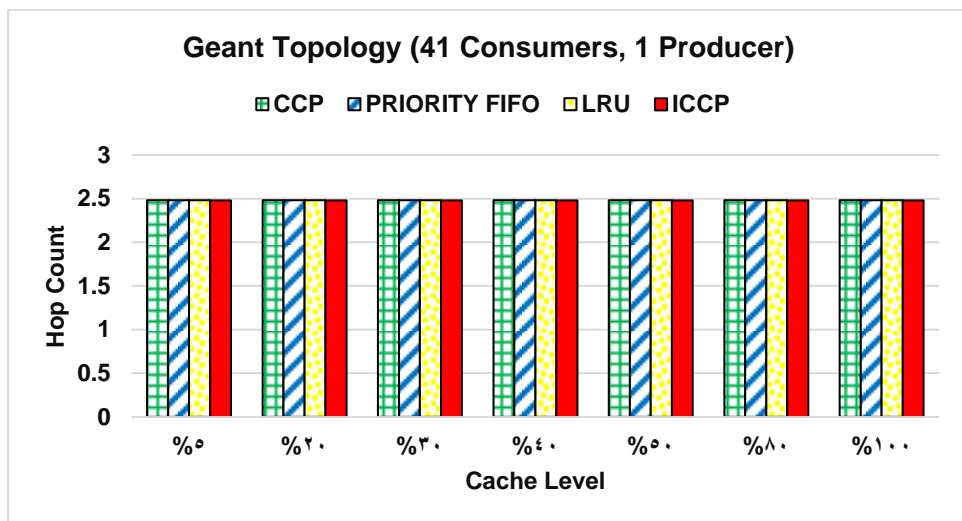
فتعتمد على معامل الازدحام وعلى جدول شعبية المحتويات المؤرشفة وعلى شعبية المحتوى، لذلك يكون أداؤها أفضل. وعندما يكون عدد العقد المزودة بمخزن محتوى يمثل 50% من العدد الكلي للعقد، فإن CHR في سياسة ICCP يتفوق على مثيله في سياسة LRU بنسبة 6% في طوبولوجيا Abilene وبنسبة 6.7% في طوبولوجيا Geant.

10-2 عدد القفزات إلى المنبع

أوضحت نتائج المحاكاة أنّ هذا المقياس يقدّم قيماً متساويةً في جميع سياسات الاستبدال المدروسة، كما يُمكن من الشكل (10) والشكل (11) 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 (10): متوسط عدد القفزات مقابل نسب مختلفة من الـ Cache في طوبولوجيا Abilene



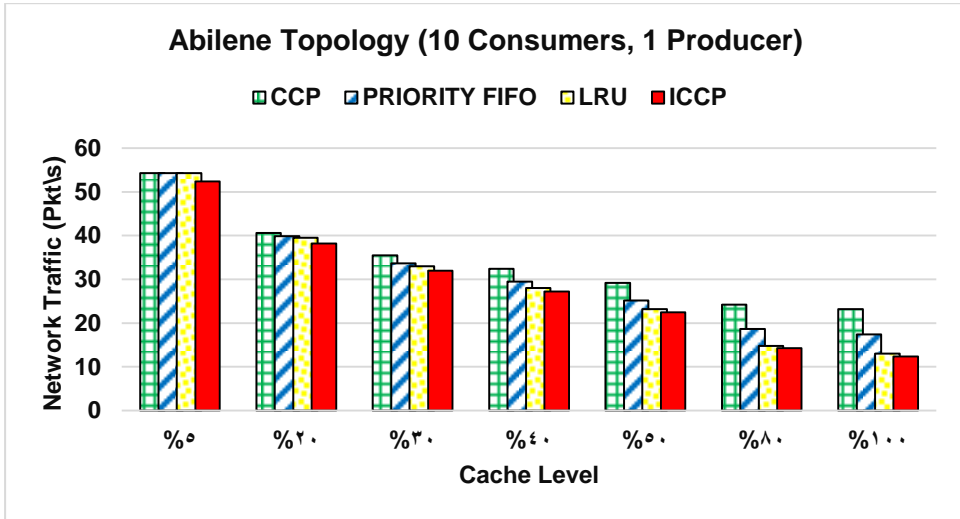
الشكل (11): متوسط عدد القفزات مقابل نسب مختلفة من الـ Cache في طوبولوجيا

Geant

10-3 حركة المرور على الشبكة

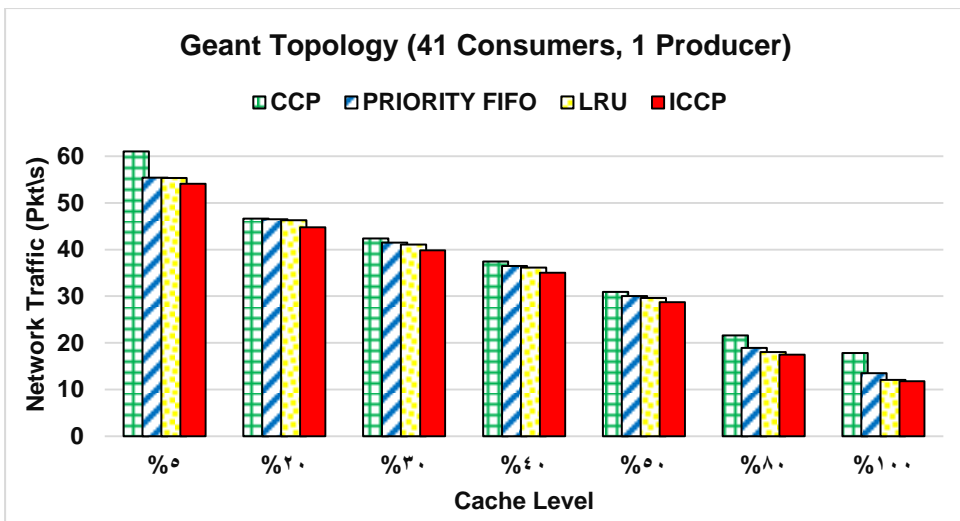
فيما يتعلق بحركة المرور على الشبكة والمقصود بها هنا عدد رزم الاهتمام ورزم البيانات، فقد كشفت النتائج التي حصلنا عليها بحسب الشكل (12) والشكل (13) أنه مع وجود عدد أقل من مخازن المحتوى تكون حركة المرور على الشبكة كبيرة. وكلما ازداد عدد مخازن المحتوى تنقص حركة المرور على الشبكة. وسبب هذا السلوك هو أنه مع وجود عدد أقل من مخازن المحتوى في الشبكة فإن كل عقدة تستلم رزمة اهتمام ستقوم بإعادة توجيهها إلى عقدة أبعد باتجاه المنتج. وبالمثل فإن كل عقدة تستلم رزمة بيانات ستقوم بإعادة توجيهها مرة أخرى باتجاه العقدة التي طلبت المحتوى (المستهلك) وهذا يزيد من حركة المرور على الشبكة. أما عند وجود عدد أكبر من مخازن المحتوى في الشبكة، فإن احتمال وجود المحتوى المطلوب في عقدة قريبة من المستهلك يكون

أعلى وبالتالي تقطع رزم الاهتمام ورزم البيانات طريق أقصر، مما يقلل من حركة المرور على الشبكة.



الشكل (12): متوسط حركة المرور على الشبكة مقابل نسب مختلفة من الـ Cache في طوبولوجيا

Abilene



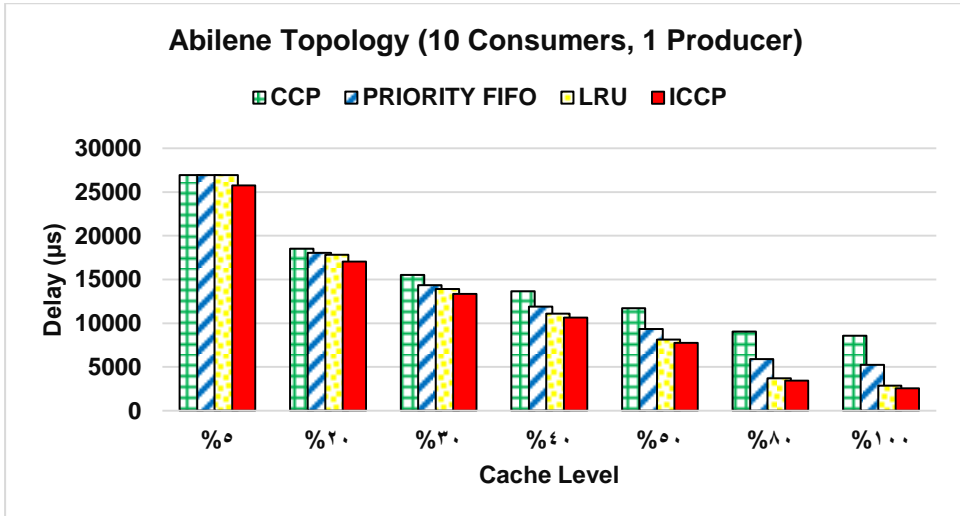
الشكل (13): متوسط حركة المرور على الشبكة مقابل نسب مختلفة من الـ Cache في طوبولوجيا

Geant

ويبدو واضحاً أيضاً أنّ سياسة استبدال ذاكرة التخزين المؤقت المُقترحة ICCP تقدّم أداءً أفضل من السياسات الأخرى الموجودة ضمن محاكي ndnSIM من حيث متوسط حركة المرور على الشبكة. وعندما يكون عدد العقد المُزوّدة بمخزن محتوى يمثل 50% من العدد الكلي للعقد، فإن متوسط حركة المرور على الشبكة في سياسة ICCP يتفوّق على مثيله في سياسة LRU بنسبة 3% في كل من طوبولوجيا Abilene وطوبولوجيا Geant.

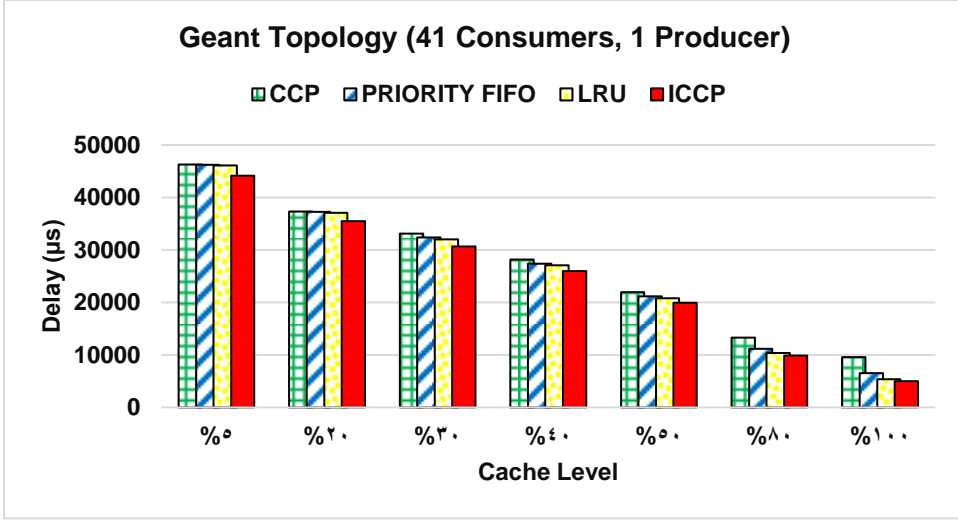
10-4 تأخير الاسترداد

لقد أظهرت النتائج المعروضة في الشكل (14) والشكل (15) أنّ التأخير المرصود بالميكرو ثانية هو التأخير الكامل الذي يتضمن تأخير استرداد المحتوى عند وجود عمليات إعادة الإرسال. كما تبين أنه مع عدد أقل من مخازن المحتوى يكون لدينا تأخير كبير لأنه في هذه الحالة يتم توجيه 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 (14): متوسط تأخير الاسترداد مقابل نسب مختلفة من الـ Cache في طوبولوجيا

Abilene



الشكل (15): متوسط تأخير الاسترداد مقابل نسب مختلفة من الـ Cache في طوبولوجيا

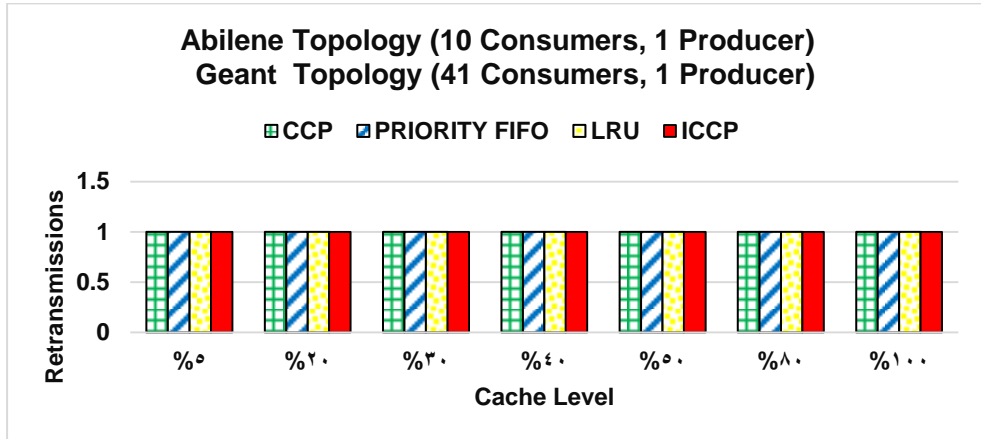
Geant

عندما يكون عدد مخازن المحتوى أكثر، يكون احتمال الوصول إلى المحتوى بأقل عدد من القفزات كبيراً. أي أنّ المحتوى يتم استرداده من مكان قريب. ومع ذلك، عندما لا يتم استرداد المحتوى عندها ستنتم عملية إعادة الإرسال وترسل عقدة المُنتج إشعار سلبي .NACK

تبيّن أيضاً بالفعل أنّ سياسة استبدال ذاكرة التخزين المؤقت المُقترحة ICCP تقدم أداءً أفضل من السياسات الأخرى الموجودة ضمن محاكي ndnSIM من حيث متوسط تأخير استرداد المحتوى. وعندما يكون عدد العقد المزودة بمخزن محتوى يمثل 50% من العدد الكلي للعقد، فإن متوسط تأخير استرداد المحتوى في سياسة ICCP يتفوق على مثيله في سياسة LRU بنسبة 4.1% في طوبولوجيا Abilene وبنسبة 3.9% في طوبولوجيا .Geant

10-5 إعادة إرسال رزم الاهتمام

أظهرت نتائج المحاكاة أنّ هذا المقياس يقدم قيمةً متساويةً في جميع سياسات الاستبدال المدروسة كما في الشكل (16)، حيث أنّ معدّل إعادة إرسال رزم الاهتمام من قبل المستهلكين عند حدوث إسقاط أو ضياع للرزم يعتبر منخفض ولم يؤثر على مقياس التأخير. مع ذلك تم النظر فيه على اعتبار أنّ حجم مخزن المحتوى في تجارب المحاكاة أقل نسبياً من حجم مخزن المحتوى في الشبكات الحقيقية، وأنّ معيار الازدحام الذي يمكن أن يسبب إسقاط الرزم قد تم أخذه بعين الاعتبار في سياسة استبدال ذاكرة التخزين المؤقت المُقترحة ICCP.



الشكل (16): متوسط عدد عمليات إعادة الإرسال مقابل نسب مختلفة من الـ Cache في

طوبولوجيا Abilene وطوبولوجيا Geant

11- الخلاصة

ركّز هذا البحث جُهوده على مفهوم التخزين المؤقت في NDN كأداة أساسية لتحسين جودة الخدمة وذلك من خلال اقتراح سياسة جديدة لاستبدال الـ Cache وهي سياسة ICCP. إنّ الدراسات المرجعية حول تقييم سياسات استبدال الـ Cache لم تأخذ معاملي الازدحام وجدول شعبية المحتويات المؤرشفة بعين الاعتبار، وهذا ما فعلته سياسة ICCP المُقترحة في هذا البحث. لقد أوضحت نتائج المحاكاة وتقييم الأداء بمحاكي

ndnSIM لسياسة ICCP المُقترحة مقابل كل من سياسة PRIORITY-FIFO وسياسة LRU وسياسة CCP أنّ سياسة ICCP تتفوق على نظيراتها بدلالة مقياس CHR ومقياس التأخير ومقياس حركة المرور على الشبكة. هذا وقد حافظت سياسة ICCP على أدائها الأفضل حتى مع تغيير بارامترات المحاكاة مثل زيادة عدد العقد، زيادة عدد رزم الاهتمام، وزيادة زمن المحاكاة.

12- التوصيات والأعمال المستقبلية

كشفت تجارب المحاكاة أنّ سياسة استبدال الـ Cache التي قدّمت أفضل النتائج أثناء تقييم الأداء هي سياسة ICCP المُقترحة. من ناحيةٍ أخرى، يظهر أداء سياسة استبدال الـ Cache بشكل أكثر وضوحاً عند وجود تباين في مستوى الـ Cache، لذلك من المستحسن تقييم أداء سياسات استبدال الـ Cache عند مستويات مختلفة من الـ Cache. السبب هو أنّ القدرات التخزينية لأجهزة توجيه NDN في الشبكات الواقعية تكون مختلفة بين عقدة والأخرى. أما آخر التوصيات فهي أنّه أثناء تقييم أداء سياسة استبدال الـ Cache، يجب ألا يقل زمن المحاكاة عن 120 ثانية. هذا بسبب أنّ أداء سياسات الاستبدال يكون مُتقارب في بداية زمن المحاكاة ويبدأ في التباين بعد مرور 120 ثانية على بدء المحاكاة.

في الحقيقة، من الممكن توسيع العمل الحالي بتحقيق سياسة استبدال جديدة. وذلك يتم من خلال أخذ معاملات استبدال أخرى ومتنوعة بعين الاعتبار ودمجها مع المعاملات التي تعتمد عليها سياسة ICCP المُقترحة عند اتخاذ قرار الاستبدال، ومن ثمّ تقييم أداء السياسة الجديدة. الأمر الحيوي الآخر هو تحقيق سياسة ICCP المُقترحة وتقييم أدائها ضمن تطبيقات شبكة حقيقة مبنية بمعمارية NDN. من المثير للاهتمام أيضاً، تقييم أداء سياسة ICCP المُقدّمة في هذا البحث ومقارنتها مع السياسات الأخرى ضمن شبكة المركبات (VANET).

13- جدول المختصرات

CCP	Cache replacement policy based-on Content Popularity
CHR	Cache Hit Rate
CMS	Content Measurement System
CRF	Common Recency Frequency
CS	Content Store
ETFCR	Enhanced Time and Frequency Cache Replacement
FIB	Forwarding Information Base
FIFO	First In First Out
HLRU	Hop-based Least Recently Used
ICCP	Improved Cache replacement policy based-on Content Popularity
ICN	Information Centric Networking
LCD	Leave a Copy Down
LCE	Leave a Copy Everywhere
LFU	Least Frequently Used
LRFU	Least Recently Frequently Used
LRU	Least Recently Used
NDN	Named Data Networking
PIT	Pending Interest Table
RR	Random Replacement
UC	Universal Caching

14- المراجع

- [1] Saad Al-Ahmadi, "A New Efficient Cache Replacement Strategy for Named Data Networking", International Journal of Computer Networks & Communications (IJCNC), 2021.
- [2] Hila Ben Abraham; Patrick Crowley, "Forwarding strategies for applications in Named Data Networking", Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE), 2017.
- [3] 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.
- [4] Zhang, Lixia, Afanasyev, Alexander, Jacobson, Van, Burke, Jeffrey, et al, "Named data networking", ACM SIGCOMM Computer Communication Review Volume 44 Issue 3, 2014.
- [5] Lixia Zhang, Van Jacobson, Beichuan Zhang, et al, "Named Data Networking: Motivation & Details". [Online] Available: <https://named-data.net/project/archoverview/> [Accessed: 07-Mar-2023].
- [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] Jianhua Ran, Na Lv, Ding Zhang, Yuanyuan Ma, Zhenyong Xie, "On Performance of Cache Policies in Named Data Networking", International Conference on Advanced Computer Science and Electronics Information (ICACSEI), 2013.

[8] BASMAH ALOTAIBI, SAAD ALAHMADI, "Efficient Caching and Replacement Strategy in Content Centric Network (CCN) based on Xon-Path and Hop Count", WSEAS Transactions on Communications, 2019.

[9] Nana Rachmana Syambas, Hamonangan Situmorang, Made Adi Paramartha Putra, "Least Recently Frequently Used Replacement Policy in Named Data Network", International Conference on Electrical Engineering and Informatics (ICEEI), 2019.

[10] Samar Shailendra, Senthilmurugan Sengottuvelan, Hemant Kumar Rath, Bighnaraj Panigrahi, Anantha Simha, "Performance Evaluation of Caching Policies in NDN - an ICN Architecture", Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE), 2017.

[11] Bighnaraj Panigrahi, Samar Shailendra, Hemant Kumar Rath, Anantha Simha, "Universal caching model and Markov-based cache analysis for information centric networks", Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE), 2015.

[12] YingQi Li, Meiju Yu, Ru Li, "A Cache Replacement Strategy Based on Hierarchical Popularity in NDN", Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE), 2018.

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

[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-Mar-2023].

[15] Martin Tunnicliffe, Gordon Hunter, "Random sampling of the Zipf–Mandelbrot distribution as a representation of vocabulary growth", ScienceDirect Physica A: Statistical Mechanics and its Applications Volume 608 Part 1, 2022.

[16] Chengyu Fan, Susmit Shannigrahi, Christos Papadopoulos, Craig Partridge, "Discovering in-network Caching Policies in NDN Networks from a Measurement Perspective", 7th ACM Conference on Information-Centric Networking, 2020.