

تقييم أداء الوصلة الصاعدة للشبكة MIMO – NOMA في الجيل

الخامس 5G

الباحث : د.م. عمر الزعبي¹

ملخص البحث:

يُعتبر النفاذ المتعدد غير المتعامد (NOMA) تقنية واحدة للجيل الخامس 5G، لأنها توفر سعة إرسال أكبر من تقنيات النفاذ المتعدد المتعامد (OMA) الحالية، حيث تسمح NOMA بالإرسال المتزامن لمعطيات عدّة مستخدمين على نفس الحامل الترددي. يتم تجميع المستخدمين في مجال الاستطاعة باستخدام الترميز المتراكب في نهاية المرسل. في نهاية المستقبل تتم عملية إلغاء التداخل المتتالي (SIC) لإزالة التداخل وفصل رسائل المستخدمين. تُعتبر NOMA تقنية متعددة الاستخدامات، حيث يمكن دمجها مع الكثير من التقنيات الأخرى مثل Cooperative communication، SWIPT و MIMO. يتم في هذا البحث نمذجة التقنية NOMA من أجل الوصلة الصاعدة في شبكات الجيل الخامس 5G مع MIMO باستخدام MATLAB، حيث تمّ نمذجة الشبكة (4 users) UL NOMA (2x1) – MIMO. تمّ دراسة أداء هذه الشبكة بالنسبة للمعدلات الإجمالية Sum rates ومعدلات السعة القابلة للتحقيق Individual user rates والانقطاع Outage.

الكلمات المفتاحية: NOMA، المعدلات الإجمالية، الوصلة الصاعدة، الانقطاع.

¹ عضو هيئة تدريسية - قسم هندسة الالكترونيات والاتصالات - كلية الهندسة - جامعة حمص.

Performance Evaluation of MIMO – NOMA Uplink network in 5G

Dr. Eng. Omar Alzoubi ¹

Abstract:

Non-orthogonal multiple access (NOMA) is considered a promising technology for 5G, because it offers greater transmission capacity than current orthogonal multiple access (OMA) techniques, as NOMA allows simultaneous transmission of multiple user data in the same frequency carrier. At the transmitter end, the users are multiplexed in the power domain using superposition coding. At the receiver end, successive interference cancellation (SIC) is carried out to remove interference and to separate the individual users messages.

NOMA is considered a versatile technology, because it can be combined with lots of other techniques like cooperative communication, SWIPT, MIMO. In this research, NOMA technology is modeled for the uplink in 5G networks with MIMO using MATLAB, where MIMO (2x1) – UL NOMA (4 users) network is modeled. The performance of this network is studied with respect to Sum rates, Individual user rates and Outage.

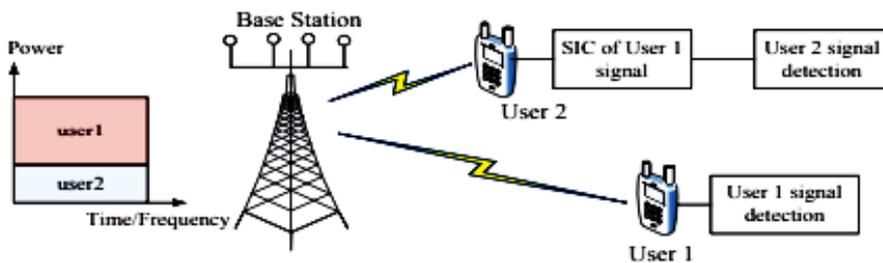
Keywords: NOMA, Sum rates, Uplink, Outage.

¹ – Lecturer - Department of Electronics and communications Engineering- Faculty of Mechanical and Electrical Engineering – University of Homs.

1- المقدمة:

يُعتبر النفاذ المتعدد غير المتعامد (NOMA) تقنية واعدة لشبكات الجيل الخامس 5G، حيث تقدّم هذه التقنية تحسيناً كبيراً في الكفاءة الطيفية [1-3]. تركز الفكرة الرئيسية لهذه التقنية على التجميع في مجال الاستطاعة، الذي لم يكن مُستخدماً في تقنيات النفاذ المتعدد المتعامد (OMA) في الأجيال السابقة. يتم في نماذج OMA التقليدية تخصيص المستخدمين بموارد راديوية متعامدة في مجال الزمن أو التردد أو الشيفرة من أجل تجنب أو تخفيف التداخل مع المستخدمين، لكن في NOMA تقوم محطة القاعدة (BS) بتخديم المستخدمين في الخلية الواحدة بنفس الموارد الزمنية والترددية، ثم يتم تجميع إشارات المستخدمين وتخصيصهم بمستويات استطاعة مختلفة وفقاً لظروف أقيمتهم. يُعتبر تخصيص الاستطاعة مفيداً أيضاً لفصل المستخدمين عن بعضهم البعض، حيث يُستخدَم غالباً إلغاء التداخل المتتالي (successive interference cancellation) (SIC) لإزالة التداخل متعدد المستخدمين [3].

يبين الشكل (1) النموذج الأساسي لتقنية NOMA مع التجميع في مجال الاستطاعة مع مستقبل SIC في الوصلة الهابطة [4]، كما يمكن أيضاً تطبيق هذا النموذج في حالة الوصلة الصاعدة [5]. يتم تجميع إشارات المستخدمين خطأً في المرسل BS بمستويات استطاعة معينة، كما يتم استخدام SIC في المستقبل للكشف متعدد المستخدمين (multi-user detection) (MUD)، حيث يتم تنفيذ SIC على المستخدمين الذين يتمتعون بنسبة عالية من الإشارة إلى التداخل مضافاً إلى الضجيج (signal-to-interference plus-noise ratio) (SINR) [3].



الشكل (1): مبدأ عمل التقنية NOMA [4]

2- هدف البحث:

يهدف البحث إلى دراسة التقنية NOMA والتعرُّف على طريقة عملها ضمن الشبكة MIMO من أجل الوصلة الصاعدة، حيث يتم دراسة أداء الشبكة MIMO – NOMA بالنسبة للمعدلات الإجمالية ومعدلات السعة القابلة للتحقيق والانتقاع.

4- مواد البحث وطرائقه:

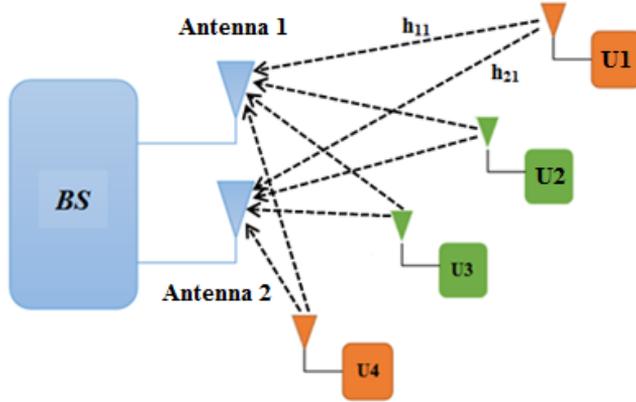
يتم في هذا البحث استخدام برنامج MATLAB لإجراء عملية النمذجة للشبكة MIMO – NOMA.

5- الدراسات المرجعية:

تمَّ دراسة التقنية NOMA لتحسين الكفاءة الطيفية في الوصلة الهابطة للأنظمة الخليوية في [6]. تمَّ فيما بعد تطوير NOMA للعمل مع نظام متعدد المداخل متعدد المخارج MIMO في [7,8]. قام الباحثون في [4] بتحليل السعة للشبكة NOMA-MIMO. نعلم أنَّ NOMA تستخدم التقنية SIC لإلغاء التداخل بين المستخدمين، لكن SIC يزيد تعقيد جهاز الاستقبال عند المستخدمين، بالتالي تطبيق NOMA بدون SIC في [9] يخفِّض تعقيد جهاز الاستقبال. في حالة استخدام NOMA في الوصلة الصاعدة، يرسل المستخدمون إشاراتهم بشكل متزامن إلى محطة القاعدة BS المرتبطة بهم [10]. في [11]، تمَّ تخمين الحدود الدنيا والعليا للمعدلات القابلة للتحقيق للوصلة الصاعدة للأنظمة NOMA المتزامنة.

6- الشبكة MIMO (2x1) – UL NOMA (4 users):

إنَّ التجميع في مجال الاستطاعة للتقنية NOMA في الوصلة الصاعدة مختلف تماماً عن الوصلة الهابطة، حيث تُستخدم BS في الوصلة الهابطة الترميز المتراكب للتجميع في مجال الاستطاعة، كما يتم تخصيص المستخدمين الأبعد عن المرسل باستطاعة أكبر من استطاعة المستخدمين الأقرب إليه [12,13]، أمَّا بالنسبة للوصلة الصاعدة تكون استطاعة الإرسال للمستخدم مُحدَّدة فقط بسعة بطارية الهاتف النقال [14]. يبين الشكل (2) اتصال الوصلة الصاعدة في شبكة لاسلكية مكوَّنة من أربع مستخدمين مع النظام MIMO 2x1.



الشكل (2): الشبكة اللاسلكية MIMO (2x1) – UL NOMA – (4 users)

بفرض x_1, x_2, x_3, x_4 الرسائل المُرسلة للمستخدمين الأربعة U_1, U_2, U_3, U_4 على التوالي. بفرض شدة الإشارة هي نفسها لكل المستخدمين. ترمز d_1, d_2, d_3, d_4 إلى أبعاد المستخدمين الأربعة عن المستقبل BS، حيث نرض $d_1 > d_2 > d_3 > d_4$ عندئذ يكون المستخدم U_1 هو الأبعد والأضعف، أمّا المستخدم U_4 هو الأقرب والأقوى. ترمز h_{it} إلى القناة بخفوت Rayleigh بين هوائي الإرسال ذي الترتيب t وهوائي الاستقبال ذي الترتيب r ، بالتالي تكون أفضية المستخدمين مُرتبة بالشكل $|h_4|^2 < |h_3|^2 < |h_2|^2 < |h_1|^2$. تُعطى الإشارة المستقبلة عند BS بالعلاقة التالية [14]:

$$y = \left(\sqrt{P}x_1h_1 + \sqrt{P}x_2h_2 + \sqrt{P}x_3h_3 + \sqrt{P}x_4h_4 \right) + n \quad (1)$$

حيث P : الاستطاعة الكلية المُرسلة، n : عينات الضجيج AWGN بمتوسط معدوم وتباين σ^2 .

6-1 معدلات السعة القابلة للتحقيق للمستخدمين في الشبكة MIMO (2x1) – UL NOMA (4 users)

يتم في الوصلة الصاعدة بداية فك ترميز إشارة المستخدم U_4 الأقرب إلى BS مع اعتبار إشارات المستخدمين الآخرين كتناخل، بالتالي يكون المعدل اللازم لـ BS لفك ترميز رسالة المستخدم الأقرب U_4 [14]:

$$R_{U_4} = \log_2 \left(1 + \frac{P |h_4|^2}{P |h_1|^2 + P |h_2|^2 + P |h_3|^2 + \sigma^2} \right) \quad (2)$$

بينما يُعطى المعدل الأعظمي للمستخدم U_3 بعد إجراء SIC بالعلاقة التالية [14]:

$$R_{U_3} = \log_2 \left(1 + \frac{P |h_3|^2}{P |h_1|^2 + P |h_2|^2 + \sigma^2} \right) \quad (3)$$

أمَّا المعدل الأعظمي للمستخدم U_2 بعد إجراء SIC يُعطى بالعلاقة التالية [14]:

$$R_{U_2} = \log_2 \left(1 + \frac{P |h_2|^2}{P |h_1|^2 + \sigma^2} \right) \quad (4)$$

أخيراً يكون المعدل الأعظمي للمستخدم U_1 بعد إجراء SIC وفق العلاقة التالية [14]:

$$R_{U_1} = \log_2 \left(1 + \frac{P |h_1|^2}{\sigma^2} \right) \quad (5)$$

6-2 احتمالات الانقطاع للشبكة MIMO (2x1) – UL NOMA (4 users)

بفرض $R_3^* = 3[\text{bps} / \text{Hz}]$ ، $R_2^* = 2 [\text{bps} / \text{Hz}]$ ، $R_1^* = 1[\text{bps} / \text{Hz}]$

هي المعدلات المطلوبة للمستخدمين U_4 ، U_3 ، U_2 ، U_1 على $R_4^* = 4[\text{bps} / \text{Hz}]$

التتالي. تُعطى السعة للمستخدم U_4 بالعلاقة التالية [14]:

$$C_4 = \sum_{i=1}^N \log_2 \left(1 + \frac{P |h_4|^2}{P |h_1|^2 + P |h_2|^2 + P |h_3|^2 + \sigma^2} \right) \quad (6)$$

بينما تُعطى السعة للمستخدم U_3 بالعلاقة التالية [14]:

$$C_3 = \sum_{i=1}^N \log_2 \left(1 + \frac{P |h_3|^2}{P |h_1|^2 + P |h_2|^2 + \sigma^2} \right) \quad (7)$$

أمَّا السعة للمستخدم U_2 فتكون كما يلي [14]:

$$C_2 = \sum_{i=1}^N \log_2 \left(1 + \frac{P |h_2|^2}{P |h_1|^2 + \sigma^2} \right) \quad (8)$$

أخيراً تُعطى السعة للمستخدم U_1 بالعلاقة التالية [14]:

$$C_1 = \sum_{i=1}^N \log_2 \left(1 + \frac{P |h_1|^2}{\sigma^2} \right) \quad (9)$$

إنَّ شرط احتمال الانقطاع للمستخدم U_1 هو:

$$\text{if } (C_1(k) < R_1^*) \parallel (C_2(k) < R_2^*) \parallel (C_3(k) < R_3^* \parallel (C_4(k) < R_4^*))$$

بالتالي يكون احتمال الانقطاع للمستخدم U_1 [14]:

$$\Pr_{ULNOMA}(U_1) = \left(\sum_{i=1}^N \Pr(C_1(k) < R_1^*) \parallel \Pr(C_2(k) < R_2^*) \right) / N$$

$$\left(\parallel \Pr(C_3(k) < R_3^* \parallel \Pr(C_4(k) < R_4^*)) \right)$$

بينما يكون شرط احتمال الانقطاع بالنسبة للمستخدم U_2 :

$$\text{if } (C_2(k) < R_2^*) \parallel (C_3(k) < R_3^* \parallel (C_4(k) < R_4^*))$$

بالتالي يكون احتمال الانقطاع للمستخدم U_2 [14]:

$$\Pr_{ULNOMA}(U_2) = \left(\sum_{i=1}^N \Pr(C_2(k) < R_2^*) \parallel \Pr \left(\begin{array}{l} C_3(k) < R_3^* \\ \parallel \Pr(C_4(k) < R_4^*) \end{array} \right) \right) / N$$

أمَّا بالنسبة للمستخدم U_3 ، يكون شرط احتمال الانقطاع:

$$\text{if } (C_3(k) < R_3^* \parallel C_4(k) < R_4^*)$$

بالتالي يكون احتمال الانقطاع للمستخدم U_3 [14]:

$$\Pr(U_3) = \left(\sum_{i=1}^N \Pr(C_3(k) < R_3^* \parallel \Pr(C_4(k) < R_4^*)) \right) / N$$

أخيراً شرط احتمال الانقطاع للمستخدم U_4 هو:

$$if \quad (C_4(k) < R_4^*)$$

بالتالي يكون احتمال الانقطاع للمستخدم U_4 [14]:

$$\Pr(U_4) = \left(\sum_{i=1}^N \Pr(C_4(k) < R_4^*) \right) / N$$

حيث N : عدد العينات.

7- النمذجة والمحاكاة:

تمّ نمذجة التقنية NOMA من أجل الوصلة الصاعدة في شبكات الجيل الخامس 5G مع MIMO باستخدام MATLAB، حيث تمّ نمذجة الشبكة MIMO – NOMA من أجل أربعة مستخدمين على الوصلة الصاعدة. تمّ دراسة أداء الشبكة بالنسبة للمعدلات الإجمالية Sum rates ومعدلات السعة القابلة للتحقيق Individual user rates والانقطاع Outage. يبيّن الجدول (1) عوامل النمذجة للوصلة الصاعدة بما يتلاءم مع شبكات الجيل الخامس 5G والتي تمّ إدخالها في نموذج المحاكاة. يبين الجدول (2) عوامل نمذجة الشبكة MIMO (2x1)–UL NOMA–(4 users).

الجدول (1): عوامل النمذجة للوصلة الصاعدة [14]

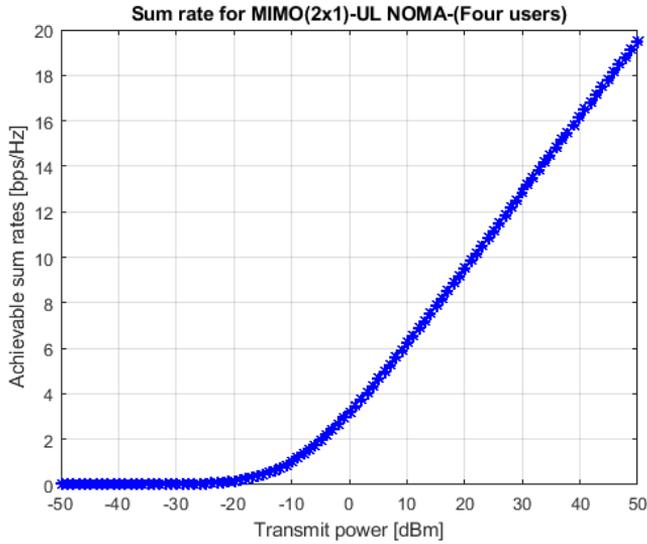
القيمة	العامل
4	عدد المستخدمين
$Bw = 200[MHz]$	عرض الحزمة الترددية
Rayleigh	نموذج القناة
2x1	MIMO

الجدول (2): عوامل نمذجة الشبكة MIMO (2x1) – UL NOMA – (4 users)

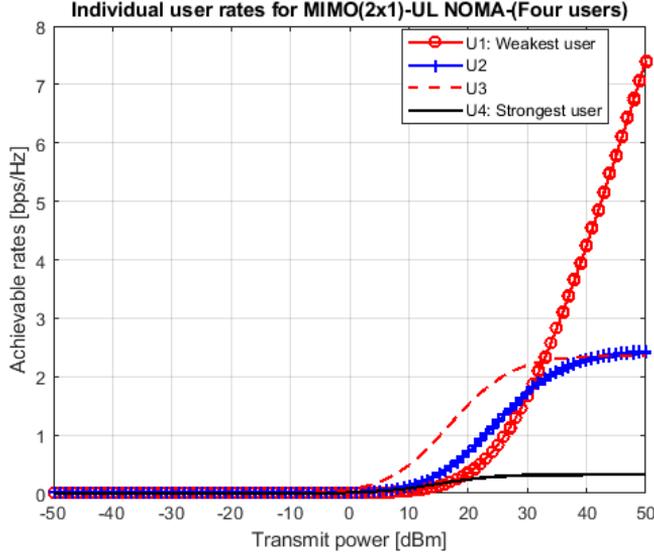
-50:50	مجال الاستطاعة المرسل بـ dBm
5	خطوة الاستطاعة المرسل بـ dBm
800	بعد المستخدم U1 بـ m
600	بعد المستخدم U2 بـ m

300	بعد المستخدم U3 بـ m
100	بعد المستخدم U4 بـ m
200 [MHz]	عرض الحزمة الترددية

يمكن دراسة أداء كل من المعدل الإجمالي Sum rate ومعدلات التحقيق Individual user rates للشبكة MIMO (2x1)-UL NOMA-(4 users)، حيث يبيّن الشكلين (3) و (4) المعدل الإجمالي ومعدلات التحقيق لهذه الشبكة على الترتيب.

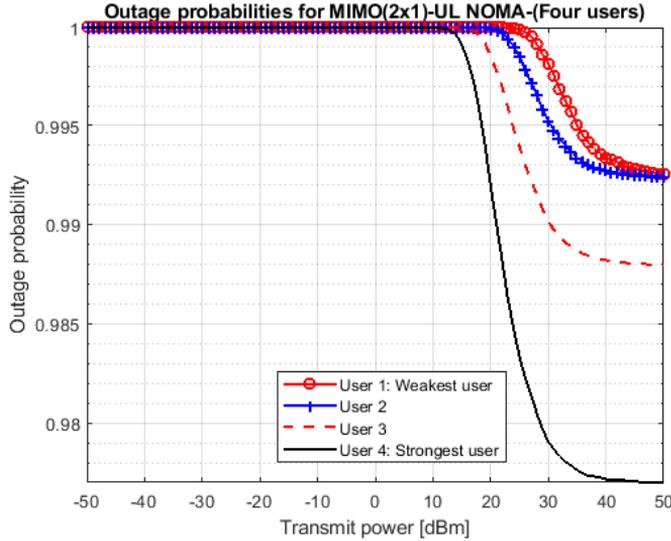


الشكل (3): المعدل الإجمالي للشبكة MIMO (2x1)-UL NOMA-(4 users)



الشكل (4): معدلات التحقيق للشبكة MIMO (2x1)-UL NOMA-(4 users)

نلاحظ أنّ المعدل اللازم لـ BS لفك ترميز رسالة المستخدم الأقوى أقل بالمقارنة مع بقية المستخدمين. أخيراً يمكن دراسة أداء الانقطاع لهذه الشبكة كما هو مُبيّن في الشكل (5).



الشكل (5): احتمالات انقطاع الشبكة MIMO (2x1)-UL NOMA-(4 users)

نلاحظ من الشكل (5) أنَّ احتمال الانقطاع لهذه الشبكة أكبر بالنسبة للمستخدم الأبعد عن BS بالمقارنة مع المستخدم الأقرب إلى BS، كما أنَّ احتمال الانقطاع لهذه الشبكة يزداد بابتعاد المستخدمين عن BS.

8- الاستنتاجات والتوصيات:

تمَّ نمذجة الشبكة اللاسلكية (4 users) UL NOMA – MIMO (2x1) باستخدام MATLAB، حيث تمَّ دراسة أداء هذه الشبكة بالنسبة للمعدلات الإجمالية ومعدلات السعة القابلة للتحقيق والانقطاع. لوحظ أنَّ المعدل المطلوب لـ BS لفك ترميز رسالة المستخدم الأقوى أقل بالمقارنة مع بقية المستخدمين، كما تبين أيضاً أنَّ احتمال الانقطاع لهذه الشبكة يزداد بابتعاد المستخدمين عن BS. يمكن القول أنَّ التقنية MIMO-NOMA تستخدم الطاقة بشكل فعّال، ممَّا يقلل استهلاك الطاقة ويساعد على تحسين كفاءة استخدام البطارية في الأجهزة الخليوية، كما تساعد التقنية MIMO-NOMA على تحسين كفاءة استخدام الترددات وزيادة سعة الشبكة وتحسين جودة الاتصال في شبكات الجيل الخامس 5G.

المراجع العلمية:

- [1] Benjebbovu, Anass, Anxin Li, Yuya Saito, Yoshihisa Kishiyama, Atsushi Harada, and Takehiro Nakamura, "System-level performance of downlink NOMA for future LTE enhancements", In 2013 IEEE globecom workshops (GC Wkshps), pp. 66-70, 2013.
- [2] Benjebbour, Anass, Yuya Saito, Yoshihisa Kishiyama, Anxin Li, Atsushi Harada, and Takehiro Nakamura, "Concept and practical considerations of non-orthogonal multiple access (NOMA) for future radio access", In 2013 International symposium on intelligent signal processing and communication systems, pp. 770-774, 2013.
- [3] Saito, Yuya, Yoshihisa Kishiyama, Anass Benjebbour, Takehiro Nakamura, Anxin Li, and Kenichi Higuchi, "Non-orthogonal multiple access (NOMA) for cellular future radio access", In 2013 IEEE 77th vehicular technology conference (VTC Spring), pp. 1-5, 2013.
- [4] Q. Sun et al. , "On the ergodic capacity of MIMO NOMA systems", IEEE wireless communication letters, vol. 4, no. 4, pp. 405-408, 2015.

- [5] Higuchi, K., and Y. Kishiyama, "Non-orthogonal access with successive interference cancellation for future radio access", APWCS2012, 2012.
- [6] L. Dai, B. Wang, Z. Ding, Z. Wang, S. Chen and L. Hanzo, "A Survey of Non- Orthogonal Multiple Access for 5G," IEEE Communications Surveys & Tutorials, vol. 20, no. 3, pp. 2294-2323, third quarter 2018.
- [7] Z. Ding, F. Adachi, and H. Poor, "The application of MIMO to non-orthogonal multiple access," IEEE Trans. Wireless Commun., vol. 15, pp. 537-552, Jan 2016.
- [8] Hassan, M.B.; Ali, E.S.; Saeed, R.A. Ultra-Massive MIMO in THz Communications: Concepts, Challenges and Applications. In Next Generation Wireless Terahertz Communication Networks, 1st ed.; CRC Press: Boca Raton, FL, USA, 2021; Chapter 10, pp. 267–297.
- [9] S. L. Shieh and Y. C. Huang, "A simple scheme for realizing the promised gains of downlink nonorthogonal multiple access," IEEE Trans. on Communications, vol. 64, pp. 1624-1635, April 2016.
- [10] Krishnamoorthy, A.; Huang, M.; Schober, R. Precoder design and power allocation for downlink MIMO-NOMA via simultaneous triangularization. In Proceedings of the 2021 IEEE Wireless Communications and Networking Conference (WCNC), Nanjing, China, 29 March–1 April 2021; pp. 1–6.
- [11] Alsaqour, R.; Ali, E.S.; Mokhtar, R.A.; Saeed, R.A.; Alhumyani, H.; Abdelhaq, M. Efficient Energy Mechanism in Heterogeneous WSNs for Underground Mining Monitoring Applications. IEEE Access 2022, 10, 72907–72924.
- [12] Do, Dinh-Thuan, Tu-Trinh Thi Nguyen, Tu N. Nguyen, Xingwang Li, and Miroslav Voznak, "Uplink and downlink NOMA transmission using full-duplex UAV", IEEE Access, pp. 164347-164364, 2020.
- [13] Krishnamoorthy, Aravindh, and Robert Schober, "Uplink and downlink MIMO-NOMA with simultaneous triangularization", IEEE Transactions on Wireless Communications, vol. 20, no. 6, pp. 3381-3396, 2021.
- [14] Hassan, M., Singh, M., Hamid, K., Saeed, R., Abdelhaq, M., & Alsaqour, R, "Modeling of NOMA-MIMO-Based Power Domain for 5G Network under Selective Rayleigh Fading Channels", Energies, vol. 15, no. 15, 2022.