**OUTLINE GRADUATION THESIS**

**Tên đề tài:** Định vị trong hệ thống 5G MIMO Millimeter wave bằng phương pháp Distributed Compressive Sensing (S-OMP)

**THESIS TITLE:** Position Estimation Through MillimeterWave MIMO in 5G Systems using Distributed Compressive Sensing (S-OMP)

**ABSTRACT**

Millimeter wave signals and large antenna arrays are considered enabling technologies for future 5G networks. While their benefits for achieving high-data rate communications are well-known, their potential advantages for accurate positioning are largely undiscovered. We derive the Cramér-Rao bound (CRB) on position and rotation angle estimation uncertainty from millimeter wave signals from a single transmitter, in the presence of scatterers. We also present a novel two-stage algorithm for position and rotation angle estimation that attains the CRB for average to high signal-to-noise ratio. The algorithm is based on multiple measurement vectors matching pursuit for coarse estimation, followed by a refinement stage based on the spacealternating generalized expectation maximization algorithm. We find that accurate position and rotation angle estimation is possible using signals from a single transmitter, in either lineof-sight, non-line-of-sight, or obstructed-line-of-sight conditions

In this work, we model a 5G downlink channel using millimeter-wave (mmWave) and massive Multiple-Input Multiple-Output (mMIMO) technologies, considering the following localization parameters: Time of Arrival (TOA), Two-Dimensional Angle of Departure (2D-AoD), and Two-Dimensional Angle of Arrival (2D-AoA), both encompassing azimuth and elevation. Our research focuses on the precise estimation of these parameters within a three-dimensional (3D) environment, which is crucial in Industry 4.0 applications such as smart warehousing. In such scenarios, determining the device localization is paramount, as products must be handled with high precision. To achieve these precise estimations, we employ an adaptive approach built upon the Distributed Compressed Sensing—Subspace Orthogonal Matching Pursuit (DCS-SOMP) algorithm. We obtain better estimations using an adaptive approach that dynamically adapts the sensing matrix during each iteration, effectively constraining the search space. The results demonstrate that our approach outperforms the traditional method in terms of accuracy, speed to convergence, and memory use.

***Keywords: :*** *5G; compressed sensing; DCS-SOMP; parameter estimation; position estimation;*

**TÓM TẮT**

***Từ khóa:***

**AUTHORSHIP**

*“I hereby declare that the work contained in this thesis is of my own and has not been previously submitted for a degree or diploma at this or any other higher education institution. To the best of my knowledge and belief, the thesis contains no materials previously published or written by another person except where due reference or acknowledgement is made.”*

Signature:………………………………………………

**SUPERVISOR’S APPROVAL**

*“I hereby approve that the thesis in its current form is ready for committee examination as a requirement for the Bachelor of Electronics and Telecommunication degree at the University of Engineering and Technology.”*

Signature:………………………………………………

**ACKNOWLEDGMENT**

I would like to express my sincere gratitude to … (should be your supervisors)

I am grateful to … (should be your tutor)

I would like to also thank … (should be your colleagues, friends who have helped you along)

I greatly appreciate the following organizations… (the Department/Lab where you did your thesis work, the University of Engineering and Technology, companies involved, …)

This thesis was partly supported by the [e.g., Vietnam National University Hanoi] under the project XYZ.

**TABLES OF CONTENT**

**LIST OF FIGURES**

**LIST OF TABLES**

**ABBREVATIONS**

**CHAPTER 1: INTRODUCTION**

* 1. Motivation

Lý do chọn đề tài khóa luận dựa trên bài báo "Position and Orientation Estimation through Millimeter Wave MIMO in 5G Systems" là như sau:

1. Tính cấp thiết của chủ đề: Bài báo đề cập đến việc ước lượng vị trí và góc quay của các thiết bị trong mạng 5G thông qua tín hiệu sóng mm-wave và hệ thống anten MIMO lớn. Trong thời đại công nghệ hiện nay, ứng dụng của mạng 5G đang ngày càng phổ biến, và việc có khả năng ước lượng chính xác vị trí và góc quay của các thiết bị trong mạng 5G sẽ đóng vai trò quan trọng trong nhiều lĩnh vực như giao thông thông minh, theo dõi và định vị đối tượng, và truyền thông cá nhân.

2. Đóng góp mới và tiềm năng của đề tài: Bài báo trình bày một phương pháp mới để ước lượng vị trí và góc quay chính xác thông qua tín hiệu mm-wave từ một bộ phát duy nhất, ngay cả trong điều kiện có vật cản. Phương pháp này đạt được giới hạn Cramér-Rao (CRB) cho ước lượng vị trí và góc quay trong điều kiện tín hiệu-từ-đồi-một-cách-chính-xác từ một bộ phát duy nhất. Điều này mở ra tiềm năng để cải thiện khả năng định vị trong mạng 5G và tận dụng sức mạnh của tín hiệu mm-wave và anten MIMO lớn.

3. Độc đáo và tính đột phá của phương pháp: Phương pháp được đề xuất trong bài báo sử dụng kỹ thuật đo lường và xử lý tín hiệu tiên tiến như compressed sensing và expectation maximization algorithm để đạt được ước lượng vị trí và góc quay chính xác. Phương pháp này khác biệt và tiên tiến so với các phương pháp truyền thống và mở ra cánh cửa cho việc khai thác tiềm năng của tín hiệu mm-wave và anten MIMO lớn trong việc định vị và định hướng thiết bị trong mạng 5G.

Trên cơ sở các lý do trên, chọn đề tài khóa luận dựa trên nội dung bài báo này sẽ mang lại những kiến thức mới, đóng góp cho lĩnh vực nghiên cứu và có tiềm năng ứng dụng thực tiễn trong mạng 5G và các lĩnh vực liên quan.

* 1. Contributions and thesis overview

Tính cần thiết của đề tài, ý nghĩa khoa học và thực tiễn, đối tượng và phương pháp nghiên cứu, nội dung nghiên cứu

- Bài báo "Position and Orientation Estimation through Millimeter Wave MIMO in 5G Systems" mang lại giá trị quan trọng và ý nghĩa trong cả lĩnh vực khoa học và thực tiễn. Dưới đây là các yếu tố quan trọng của đề tài, ý nghĩa khoa học và thực tiễn, đối tượng và phương pháp nghiên cứu, và nội dung nghiên cứu dựa trên bài báo này:

1. Tính cần thiết của đề tài:

- Mm-wave và massive MIMO là công nghệ quan trọng trong mạng viễn thông 5G, nhưng đến nay chưa có nhiều nghiên cứu về ứng dụng của chúng trong việc xác định vị trí và hướng của thiết bị.

- Xác định vị trí và hướng là một yếu tố quan trọng trong việc triển khai các ứng dụng 5G, bao gồm cả việc cung cấp dịch vụ định vị và hướng dẫn điều hướng cho xe tự hành và Internet of Things (IoT).

2. Ý nghĩa khoa học và thực tiễn:

- Bài báo đề xuất phương pháp xác định vị trí và hướng bằng cách sử dụng tín hiệu mm-wave từ một bộ phát duy nhất, kể cả trong điều kiện có chướng ngại vật.

- Bài báo đánh giá chính xác của phương pháp và đưa ra giới hạn Cramér-Rao trên độ chính xác ước lượng vị trí và góc quay.

- Kết quả nghiên cứu cho thấy việc xác định vị trí và hướng chính xác là có thể sử dụng tín hiệu từ một bộ phát duy nhất, bất kể có hay không đường nhìn trực tiếp, đường nhìn gián tiếp hoặc đường nhìn bị che khuất.

3. Đối tượng và phương pháp nghiên cứu:

- Đối tượng nghiên cứu là việc xác định vị trí và hướng của thiết bị trong mạng viễn thông 5G bằng cách sử dụng tín hiệu mm-wave và massive MIMO.

- Phương pháp nghiên cứu bao gồm xác định giới hạn Cramér-Rao trên độ chính xác ước lượng và đề xuất một thuật toán hai giai đoạn để ước lượng vị trí và góc quay.

4. Nội dung nghiên cứu:

- Bài báo mô tả việc xác định giới hạn Cramér-Rao trên độ chính xác ước lượng vị trí và góc quay từ tín hiệu mm-wave từ một bộ phát duy nhất, trong điều kiện có chướng ngại vật.

- Bài báo đề xuất một thuật toán hai giai đoạn cho việc ước lượng vị trí và góc quay, đạt được giới hạn Cramér-Rao cho tỷ lệ tín hiệu tạp âm trung bình đến cao.

- Thuật toán dựa trên việc sử dụng phương pháp multiple measurement vectors matching pursuit cho ước lượng sơ bộ, sau đó là giai đoạn tinh chỉnh dựa trên thuật toán space-alternating generalized expectation maximization.

- Kết quả nghiên cứu cho thấy việc xác định vị trí và hướng chính xác là khả thi bằng cách sử dụng tín hiệu từ một bộ phát duy nhất, bất kể điều kiện có đường nhìn trực tiếp, đường nhìn gián tiếp hoặc đường nhìn bị che khuất.

Tóm lại, bài báo này mang lại giá trị quan trọng trong việc khai thác tiềm năng của tín hiệu mm-wave và massive MIMO trong việc xác định vị trí và hướng trong mạng viễn thông 5G. Phương pháp ước lượng vị trí và góc quay được đề xuất và đạt được độ chính xác tối ưu. Các kết quả nghiên cứu này có ý nghĩa trong cả lĩnh vực khoa học và ứng dụng thực tiễn của việc triển khai mạng viễn thông 5G.

In this work, the authors propose a comprehensive localization algorithm using MIMO, mmWave, and ULA. They employ the DCS-SOMP method for parameter estimation. Due to the linear antenna array, the method applies to a 2D environment. Additionally, the DCS-SOMP method provides only a coarse parameter estimate, demanding further fine-tuning using the SAGE methodIn [5], the authors propose a comprehensive localization algorithm using MIMO, mmWave, and ULA. They employ the DCS-SOMP method for parameter estimation. Due to the linear antenna array, the method applies to a 2D environment. Additionally, the DCS-SOMP method provides only a coarse parameter estimate, demanding further fine-tuning using the SAGE method

- Estimate AoA and AoD using DSC-SOMP from channel modeling using MIMO and mmWave.

- Employ the DCS-SOMP method for parameter estimation. Due to the linear antenna array, the method applies to a 2D environment. Additionally, the DCS-SOMP method provides only a coarse parameter estimate, demanding further fine-tuning using the SAGE method

* 1. Related work
  2. Thesis layout

The remainder of this article is organized as follows: in Section 2, a literature review is presented. Section 3 outlines the system model, focusing on the channel and received signal modeling. Section 4 elaborates on constructing the sensing matrix and applying the DCS-SOMP method, including the proposed modification for adaptive search in the sensing matrix. In Section 5, simulation results are presented and discussed. Finally, Section 6 concludes the article

**CHAPTER 2: BASIC THEORIES OF 5G SYSTEM**

2.1. System Model

2.1.1. Transmitter Model

2.1.2. Channel Model

2.1.3. Received Signal Model

2.2. Basic theory of compressed sensing

2.3. Methods for 5G mm-wave channel estimation

2.3.1. L1 trực tiếp

2.3.2. L1 gián tiếp

- FISTA

- L1-LS

2.3.3. Sparse Bayesian Inference

Tổng kết chương II

**CHAPTER 3: POSITIONING PROBLEM THROUGH MILLIMETER WAVE MIMO IN 5G SYSTEM**

3.1. Overview about channel estimation

3.2. OMP Algorithm

OMP (Orthogonal matching pursuit) - single subcarrier

3.3. S-OMP Algorithm

S-OMP (Simultaneous orthogonal matching pursuit) - multiple subcarrier

* Distributed Compressive Sensing
* AOA, AOD => Positioning
* Advantages of S-OMP compared to OMP

3.4. Positioning methods using channel information (channel estimation)

Tổng kết chương III

**CHAPTER 4: SIMULATION**

4.1. Simulation Setup

4.2. Simulation Results

4.3. Discussion

Tổng kết chương IV

**CONCLUSION**

Conclusions

Future Works

**APPENDIX**

**REFERENCES**

**[1] A. Shahmansoori, G. E. Garcia, G. Destino, G. Seco-Granados and H. Wymeersch, *“Position and Orientation Estimation Through MillimeterWave MIMO in 5G Systems,”* in IEEE Transactions on Wireless Communications, vol. 17, no. 3, pp. 1822-1835, March 2018, doi: 10.1109/TWC.2017.2785788.**

**[2] M. F. Duarte, S. Sarvotham, D. Baron, M. B. Wakin and R. G. Baraniuk, “*Distributed Compressed Sensing of Jointly Sparse Signals,”* Conference Record of the Thirty-Ninth Asilomar Conference onSignals, Systems and Computers, 2005., Pacific Grove, CA, USA, 2005, pp. 1537-1541, doi: 10.1109/ACSSC.2005.1600024**

**[3] A. Beck and M. Teboulle, *“A fast iterative shrinkage-thresholding algorithm for linear inverse problems,”* SIAM J. Imag. Sci., vol. 2, no. 1, pp. 183–202, 2009**

**[4] J. A. Fessler and A. O. Hero, *“Space-alternating generalized expectation-maximization algorithm,”* in IEEE Transactions on Signal Processing, vol. 42, no. 10, pp. 2664-2677, Oct. 1994, doi: 10.1109/78.324732**

**[5] Dror Baron, Marco F. Duarte, Michael B. Wakin, Shriram Sarvotham, and Richard G. Baraniuk2*, “Distributed Compressive Sensing,”*, 2019**

**[6] J. A. Tropp and A. C. Gilbert, *"Signal Recovery From Random Measurements Via Orthogonal Matching Pursuit,"* in IEEE Transactions on Information Theory, vol. 53, no. 12, pp. 4655-4666, Dec. 2007, doi: 10.1109/TIT.2007.909108.**

**[7] Conceição, Paulo & Rocha, Flávio. (2023) *“Adaptive DCS-SOMP for Localization Parameter Estimation in 5G Networks,”* Sensors. 23. 9073. 10.3390/s23229073.**

[8] L. Dai, X. Gao, S. Han, I. Chih-Lin and X. Wang, *"Beamspace channel estimation for millimeter-wave massive MIMO systems with lens antenna array,"* 2016 IEEE/CIC International Conference on Communications in China (ICCC), Chengdu, China, 2016, pp. 1-6, doi: 10.1109/ICCChina.2016.7636854.

[9] J. H. Brady and A. Sayeed, *“Wideband communication with highdimensional arrays: New results and transceiver architectures,”* in IEEE International Conference on Communication (ICC), London, UK, Jun 2015, pp. 1042–1047

[10] P. Stoica and T. Söderström, *“On reparametrization of loss functions used in estimation and the invariance principle,”* Signal Processing, vol. 17, pp. 383–387, Aug 1989. [36] A. L. Swindlehurst and P. Stoica, *“Maximum likelihood methods in radar array signal processing,”* Proceedings of the IEEE, vol. 86, no. 2, pp. 421–441, Feb 2002.

[11] D. Needell and R. Vershynin, *“Uniform uncertainty principle and signal recovery via regularized orthogonal matching pursuit,”* Dec. 2007. Preprint

[12] D. L. Donoho, Y. Tsaig, I. Drori and J. -L. Starck, *"Sparse Solution of Underdetermined Systems of Linear Equations by Stagewise Orthogonal Matching Pursuit,"* in IEEE Transactions on Information Theory, vol. 58, no. 2, pp. 1094-1121, Feb. 2012, doi: 10.1109/TIT.2011.2173241. Trang

[13] Y. C. Eldar, P. Kuppinger and H. Bolcskei, *“Block-Sparse Signals: Uncertainty Relations and Efficient Recovery,”* in IEEE Transactions on Signal Processing, vol. 58, no. 6, pp. 3042-3054, June 2010, doi: 10.1109/TSP.2010.2044837. Nhi

[14] J. Lee, G.-T. Gil, and Y. H. Lee, *“Channel estimation via orthogonal matching pursuit for hybrid MIMO systems in millimeter wave communications,”* IEEE Trans. Commun., vol. 64, no. 6, pp. 2370–2386, Jun 2016.

[15] X. Li, J. Fang, H. Li and P. Wang, *“Millimeter Wave Channel Estimation via Exploiting Joint Sparse and Low-Rank Structures,”* in IEEE Transactions on Wireless Communications, vol. 17, no. 2, pp. 1123-1133, Feb. 2018, doi: 10.1109/TWC.2017.2776108.

[16] R. Mendrzik, H. Wymeersch, G. Bauch and Z. Abu-Shaban, *“Harnessing NLOS Components for Position and Orientation Estimation in 5G Millimeter Wave MIMO,”* in IEEE Transactions on Wireless Communications, vol. 18, no. 1, pp. 93-107, Jan. 2019, doi: 10.1109/TWC.2018.2877615. 12

[17] M. Koivisto, A. Hakkarainen, M. Costa, P. Kela, K. Leppänen, and M. Valkama, *“High-efficiency device positioning and locationaware communications in dense 5G networks,”* IEEE Commun. Mag., vol. 55, no. 8, pp. 188–195, 2017.

[18] C. Xiang et al., “*Robust Sub-Meter Level Indoor Localization With a Single WiFi Access Point—Regression Versus Classification,”* in IEEE Access, vol. 7, pp. 146309-146321, 2019, doi: 10.1109/ACCESS.2019.2946271.

[19] Shai Shalev-Shwartz, Alon Gonen, and Ohad Shamir *“Large-scale convex minimization with a low-rank constraint,”* in Proceedings of the 28th International Conference on International Conference on Machine Learning (ICML’11), pp. 329–336, 2011.





