



ANALISIS EFEK DOPPLER DALAM SISTEM RADAR DAN TELEKOMUNIKASI

Dhealova Angelica Harefa¹⁾, Aroli Mendrofa²⁾

¹⁾ Teknologi Informasi, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Nias, Gunungsitoli, Indonesia
Email: dhealovaharefa2@gmail.com

²⁾ Teknologi Informasi, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Nias, Gunungsitoli, Indonesia
Email: arolimendrofa@gmail.com

Abstract

The Doppler effect is a phenomenon of frequency shift caused by relative motion between a wave source and receiver, with significant applications in radar and telecommunication systems. This study conducts a systematic literature review to explore its utilization in these fields. In radar systems, the Doppler effect is essential for target detection, speed measurement, and classification. In telecommunication systems, it supports channel estimation, time synchronization, and interference reduction. Despite its advantages, challenges such as multipath propagation and high-speed movement require further attention to enhance system performance and reliability.

Keywords: Doppler, Radar, Telecommunications, Detection, Propagation

Abstrak

Efek Doppler adalah fenomena pergeseran frekuensi yang disebabkan oleh pergerakan relatif antara sumber gelombang dan penerima, dengan aplikasi signifikan pada sistem radar dan telekomunikasi. Studi ini melakukan tinjauan literatur sistematis untuk mengeksplorasi pemanfaatannya dalam kedua bidang tersebut. Pada sistem radar, efek Doppler berperan penting dalam deteksi target, pengukuran kecepatan, dan klasifikasi. Sementara itu, pada sistem telekomunikasi, efek ini mendukung estimasi saluran, sinkronisasi waktu, dan pengurangan interferensi. Meskipun menawarkan banyak manfaat, tantangan seperti propagasi multipath dan pergerakan dengan kecepatan tinggi memerlukan perhatian lebih lanjut untuk meningkatkan kinerja dan keandalan sistem.

Kata Kunci: Doppler, Radar, Telekomunikasi, Deteksi, Propagasi



1. Pendahuluan

Efek Doppler merupakan fenomena perubahan frekuensi yang terjadi akibat pergerakan relatif antara sumber gelombang dan penerima. Fenomena ini pertama kali ditemukan oleh fisikawan Austria, Christian Doppler, pada tahun 1842 [1]. Efek Doppler dapat diamati pada berbagai jenis gelombang, termasuk gelombang suara, gelombang radio, dan gelombang cahaya. Dalam bidang teknologi, efek Doppler memiliki implikasi penting dalam berbagai aplikasi, khususnya dalam sistem radar dan sistem telekomunikasi. Dalam sistem radar, efek Doppler dimanfaatkan untuk mendeteksi, mengukur kecepatan, serta mengklasifikasi target [2]. Sementara dalam sistem telekomunikasi, efek Doppler dimanfaatkan untuk estimasi kanal, sinkronisasi waktu, dan reduksi interferensi [3]. Meskipun efek Doppler telah lama dikenal dan dimanfaatkan dalam berbagai aplikasi, masih terdapat tantangan terkait dengan pengaruh efek Doppler, seperti multipath propagasi dan pergerakan cepat [4]. Oleh karena itu, studi lebih lanjut mengenai pemanfaatan efek Doppler dalam sistem radar dan telekomunikasi serta strategi untuk mengatasi tantangan yang ada perlu dilakukan. Tujuan dari studi ini adalah untuk melakukan analisis literatur mengenai penerapan efek Doppler dalam sistem radar dan sistem telekomunikasi. Analisis ini mencakup prinsip dasar efek Doppler, aplikasi efek Doppler dalam radar dan telekomunikasi, serta tantangan dan pengembangan terkini dalam pemanfaatan efek Doppler. Diharapkan hasil

studi ini dapat memberikan wawasan yang komprehensif mengenai peran efek Doppler dalam meningkatkan kinerja dan keandalan sistem radar dan telekomunikasi

2. Metodologi Penelitian

Penelitian ini menggunakan pendekatan tinjauan literatur sistematis (systematic literature review) untuk menganalisis penerapan efek Doppler dalam sistem radar dan sistem telekomunikasi. Tinjauan literatur sistematis merupakan metode penelitian yang terstruktur dan komprehensif untuk mengidentifikasi, mengevaluasi, dan menginterpretasikan semua temuan yang relevan terkait dengan topik tertentu [5].

Proses tinjauan literatur sistematis dalam penelitian ini meliputi beberapa tahap, yaitu:

1. Pencarian dan pengumpulan artikel: Pencarian artikel ilmiah yang relevan dilakukan melalui beberapa database online terkemuka, seperti IEEE Xplore, Science Direct, dan Scopus. Kata kunci yang digunakan dalam pencarian meliputi "Doppler effect", "radar system", "telecommunication system", "target detection", "channel estimation", dan kombinasi istilah lainnya.
2. Seleksi dan skrining artikel: Artikel-artikel yang ditemukan kemudian diseleksi berdasarkan kriteria inklusi dan eksklusi yang telah ditetapkan. Kriteria inklusi meliputi artikel yang membahas penerapan efek Doppler dalam sistem radar atau telekomunikasi, diterbitkan dalam



jurnal atau konferensi internasional bereputasi, dan tersedia dalam bentuk teks lengkap. Artikel yang tidak memenuhi kriteria inklusi akan dieksklusikan dari analisis.

3. Ekstraksi data: Data yang diekstraksi dari artikel-artikel terpilih mencakup informasi tentang prinsip dasar efek Doppler, aplikasi efek Doppler dalam radar dan telekomunikasi, serta tantangan dan pengembangan terkini dalam pemanfaatan efek Doppler.
4. Sintesis dan analisis: Data yang telah diekstraksi kemudian disintesis dan dianalisis secara tematik untuk mengidentifikasi pola, tren, dan wawasan yang relevan dari penelitian-penelitian sebelumnya. Analisis dilakukan dengan mempertimbangkan aspek-aspek seperti konsep, metodologi, temuan, dan implikasi dari setiap studi.

Dengan menggunakan metodologi tinjauan literatur sistematis, penelitian ini diharapkan dapat memberikan gambaran komprehensif mengenai pemanfaatan efek Doppler dalam sistem radar dan telekomunikasi, serta mengidentifikasi tantangan dan peluang pengembangan lebih lanjut.

3. Hasil dan Pembahasan

1. Prinsip Dasar Efek Doppler
Efek Doppler adalah fenomena perubahan frekuensi yang terjadi akibat pergerakan relatif antara sumber gelombang dan penerima. Ketika

sumber gelombang dan penerima bergerak saling mendekat, frekuensi yang diterima akan lebih tinggi dibandingkan frekuensi asli. Sebaliknya, jika sumber gelombang dan penerima saling menjauhi, frekuensi yang diterima akan lebih rendah. Besarnya pergeseran frekuensi tergantung pada kecepatan relatif antara sumber dan penerima, serta frekuensi asli dari sumber gelombang. (Doppler, C. 1842)

2. Aplikasi Efek Doppler dalam Sistem Radar

Dalam sistem radar, efek Doppler dimanfaatkan untuk berbagai tujuan, antara lain:

- a. Deteksi target: Pergeseran frekuensi akibat efek Doppler dapat digunakan untuk membedakan target yang bergerak dari target yang diam, sehingga membantu dalam proses deteksi target.
- b. Pengukuran kecepatan: Besarnya pergeseran frekuensi dapat dikorelasikan dengan kecepatan target, sehingga dapat digunakan untuk mengukur kecepatan target.
- c. Klasifikasi target: Karakteristik pergeseran frekuensi yang berbeda-beda dapat digunakan untuk mengklasifikasikan jenis target, seperti pesawat, kendaraan, atau objek lainnya. (Skolnik, M.)

3. Aplikasi Efek Doppler dalam Sistem Telekomunikasi



Dalam sistem telekomunikasi, efek Doppler juga memiliki penerapan yang signifikan, terutama dalam sistem komunikasi nirkabel, seperti:

- a. Estimasi kanal: Pergeseran frekuensi akibat efek Doppler dapat digunakan untuk memperkirakan karakteristik kanal nirkabel, seperti fading dan delay spread, yang berguna untuk memaksimalkan kinerja sistem.
- b. Sinkronisasi waktu: Efek Doppler dapat menyebabkan pergeseran waktu pada sinyal yang diterima. Pemahaman tentang efek Doppler dapat membantu dalam merancang mekanisme sinkronisasi waktu yang lebih robust.
- c. Reduksi interferensi: Perbedaan pergeseran frekuensi akibat efek Doppler pada sinyal yang berbeda dapat dimanfaatkan untuk mengurangi interferensi antara pengguna dalam sistem komunikasi nirkabel (Rappaport, T. S. 2002)

4. Tantangan dan Pengembangan Terkini
- Meskipun efek Doppler telah lama dimanfaatkan dalam sistem radar dan telekomunikasi, masih terdapat beberapa tantangan yang harus diatasi, antara lain:
- a. Multipath propagasi: Multipath propagasi dapat menyebabkan distorsi pada pergeseran frekuensi Doppler, sehingga mempersulit estimasi dan pengukuran.
 - b. Pergerakan cepat: Pergerakan cepat target atau pengguna dapat

menyebabkan pergeseran frekuensi Doppler yang besar dan sulit untuk diestimasi. (Proakis, J. G., & Salehi, M. 2007)

Untuk mengatasi tantangan-tantangan tersebut, penelitian dan pengembangan berkelanjutan diperlukan, seperti:

- Pengembangan algoritma pemrosesan sinyal yang lebih robust terhadap multipath propagasi.
- Pemanfaatan teknologi antena cerdas dan teknik beamforming untuk mengurangi efek multipath.
- Pengembangan metode estimasi kanal dan sinkronisasi waktu yang lebih adaptif terhadap pergerakan cepat.
- Integrasi efek Doppler dengan teknik mitigasi interferensi yang lebih efektif.

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis literatur yang dilakukan, dapat disimpulkan bahwa efek Doppler memainkan peran penting dalam meningkatkan kinerja dan keandalan sistem radar dan telekomunikasi. Efek Doppler dimanfaatkan secara luas dalam berbagai aplikasi di kedua bidang tersebut.

Dalam sistem radar, efek Doppler dimanfaatkan untuk:

1. Deteksi target: Pergeseran frekuensi akibat efek Doppler dapat digunakan untuk membedakan target yang bergerak dari yang diam, membantu proses deteksi.
2. Pengukuran kecepatan: Besarnya pergeseran frekuensi Doppler dapat



dikorelasikan dengan kecepatan target, sehingga dapat digunakan untuk mengukur kecepatan target.

3. Klasifikasi target: Karakteristik pergeseran frekuensi Doppler yang berbeda-beda dapat digunakan untuk mengklasifikasikan jenis target, seperti pesawat, kendaraan, atau objek lainnya.

Dalam sistem telekomunikasi, efek Doppler dimanfaatkan untuk:

1. Estimasi kanal: Pergeseran frekuensi Doppler dapat digunakan untuk memperkirakan karakteristik kanal nirkabel, seperti fading dan delay spread, yang berguna untuk memaksimalkan kinerja sistem.
2. Sinkronisasi waktu: Efek Doppler dapat menyebabkan pergeseran waktu pada sinyal yang diterima, sehingga pemahaman tentang efek Doppler dapat membantu dalam **merancang** mekanisme sinkronisasi waktu yang lebih robust.
3. Reduksi interferensi: Perbedaan pergeseran frekuensi Doppler pada sinyal yang berbeda dapat dimanfaatkan untuk mengurangi interferensi antara pengguna dalam sistem komunikasi nirkabel.

Meskipun efek Doppler telah lama dimanfaatkan dalam sistem radar dan telekomunikasi, masih terdapat beberapa tantangan yang harus diatasi, seperti multipath propagasi dan pergerakan cepat. Penelitian dan pengembangan berkelanjutan diperlukan untuk

mengatasi tantangan-tantangan tersebut dan mengoptimalkan pemanfaatan efek Doppler dalam kedua sistem tersebut.

Secara keseluruhan, analisis literatur ini menunjukkan bahwa efek Doppler memiliki peran yang sangat penting dalam meningkatkan kinerja dan keandalan sistem radar dan telekomunikasi, dan terus menjadi topik yang menarik untuk diteliti dan dikembangkan.

DAFTAR PUSTAKA

- Balanis, C. A. (2016). *Antenna Theory: Analysis and Design* (4th ed.). Wiley.
- Chen, C. C., & Andrews, M. L. (2011). Doppler radar principles and applications. *Radar Handbook* (3rd ed.), 22.1–22.46. McGraw-Hill.
- Griffiths, H. (2005). Advances in radar detection. *IEE Proceedings - Radar, Sonar and Navigation*, 152(4), 245–247. <https://doi.org/10.1049/ip-rsn:20050010>
- Mahafza, B. R. (2021). *Radar Systems Analysis and Design Using MATLAB* (4th ed.). CRC Press.
- Skolnik, M. I. (2008). *Introduction to Radar Systems* (3rd ed.). McGraw-Hill.
- Richards, M. A. (2014). *Fundamentals of Radar Signal Processing* (2nd ed.). McGraw-Hill Education.
- Levanon, N., & Mozeson, E. (2004). *Radar Signals*. Wiley-Interscience.
- Fish, S. E. (2014). Doppler radar applications in traffic and weather monitoring. *IEEE Aerospace and Electronic Systems Magazine*, 29(7), 4–12.



- <https://doi.org/10.1109/MAES.2014.6866620>
- Tse, D., & Viswanath, P. (2005). *Fundamentals of Wireless Communication*. Cambridge University Press.
- Goldsmith, A. (2005). *Wireless Communications*. Cambridge University Press.
- Proakis, J. G., & Salehi, M. (2008). *Digital Communications (5th ed.)*. McGraw-Hill.
- Molisch, A. F. (2011). *Wireless Communications (2nd ed.)*. Wiley.
- Rappaport, T. S. (2014). *Wireless Communications: Principles and Practice (2nd ed.)*. Prentice Hall.
- Cooper, G. R. (2013). *Introduction to Radar Systems*. Springer.
- Skolnik, M. I. (2003). Doppler effect in radar. In *Radar Handbook (2nd ed.)*, McGraw-Hill.
- Brown, P. E., & Griffiths, H. (2004). Doppler radar for object tracking. *IEE Proceedings - Radar, Sonar and Navigation*, 151(2), 93–102.
- Van Trees, H. L. (2001). *Detection, Estimation, and Modulation Theory: Radar-Sonar Signal Processing and Gaussian Signals in Noise*. Wiley.
- Papazyan, T., & Mertins, A. (2011). Doppler-based target identification. *Signal Processing*, 91(2), 289–299. <https://doi.org/10.1016/j.sigpro.2010.07.019>
- Li, J., & Stoica, P. (2005). *MIMO Radar Signal Processing*. Wiley.
- Zhang, X., & Yang, Z. (2019). Applications of the Doppler effect in mobile communication. *IEEE Transactions on Communications*, 67(11), 7521–7535. <https://doi.org/10.1109/TCOMM.2019.2938340>
- Qi, Y., & Xing, M. (2017). *Radar Imaging and Target Tracking*. Springer.
- Wang, J., & Chen, Z. (2013). Doppler shifts in LTE systems. *IEEE Communications Magazine*, 51(5), 115–121. <https://doi.org/10.1109/MCOM.2013.6515059>
- Gao, F., & Zhang, X. (2015). Doppler effect in 5G mobile networks. *IEEE Wireless Communications*, 22(6), 24–31. <https://doi.org/10.1109/MWC.2015.7368851>
- Yang, W., & Wu, Y. (2018). Time synchronization using Doppler effect. *IEEE Access*, 6, 11454–11463. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2018.2797849>
- Gong, X., & Huang, X. (2016). Mitigating Doppler-induced interference in satellite communications. *IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems*, 52(4), 1971–1985. <https://doi.org/10.1109/TAES.2016.140970>
- He, Q., & Jin, S. (2012). Channel estimation for high-speed trains using Doppler effect. *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, 61(10), 4560–4570. <https://doi.org/10.1109/TVT.2012.2202932>



- Barbu, T., & Marzban, S. (2014). Doppler effects in UAV radar systems. *IEEE Aerospace and Electronic Systems Magazine*, 29(5), 6–14. <https://doi.org/10.1109/MAES.2014.6826317>
- Ryu, H. Y., & Lee, C. H. (2015). Interference mitigation using Doppler information. *IEEE Transactions on Wireless Communications*, 14(11), 6251–6263. <https://doi.org/10.1109/TWC.2015.2458356>
- Ahmed, M., & Rahman, M. (2019). Challenges in Doppler effect-based radar systems. *IET Radar, Sonar & Navigation*, 13(2), 215–224. <https://doi.org/10.1049/iet-rsn.2018.5075>
- Zhao, Y., & Wang, Z. (2018). Doppler effect in satellite communication networks. *IEEE Transactions on Communications*, 66(4), 1605–1618. <https://doi.org/10.1109/TCOMM.2017.2789243>