
Abstract

(Farazmand and Haller 2012)

--

Sammendrag

--

Preface

--

Table of Contents	
List of Figures	ix
List of Tables	xi
Notation	xiii
1 Introduction	1
1.1 Yolo	2
2 Theory	5
3 Method	7
4 Results	9
5 Discussion	11
6 Conclusions	13
References	15
A Appendix A	17

--

List of Figures

--

List of Tables

--

Notation

--

1 Introduction

Nulla malesuada porttitor diam. Donec felis erat, congue non, volutpat at, tincidunt tristique, libero. Vivamus viverra fermentum felis. Donec nonummy pellentesque ante. Phasellus adipiscing semper elit. Proin fermentum massa ac quam. Sed diam turpis, molestie vitae, placerat a, molestie nec, leo. Maecenas lacinia. Nam ipsum ligula, eleifend at, accumsan nec, suscipit a, ipsum. Morbi blandit ligula feugiat magna. Nunc eleifend consequat lorem. Sed lacinia nulla vitae enim. Pellentesque tincidunt purus vel magna. Integer non enim. Praesent euismod nunc eu purus. Donec bibendum quam in tellus. Nullam cursus pulvinar lectus. Donec et mi. Nam vulputate metus eu enim. Vestibulum pellentesque felis eu massa.

Quisque ullamcorper placerat ipsum. Cras nibh. Morbi vel justo vitae lacus tincidunt ultrices. Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. In hac habitasse platea dictumst. Integer tempus convallis augue. Etiam facilisis. Nunc elementum fermentum wisi. Aenean placerat. Ut imperdiet, enim sed gravida sollicitudin, felis odio placerat quam, ac pulvinar elit purus eget enim. Nunc vitae tortor. Proin tempus nibh sit amet nisl. Vivamus quis tortor vitae risus porta vehicula.

Fusce mauris. Vestibulum luctus nibh at lectus. Sed bibendum, nulla a faucibus semper, leo velit ultricies tellus, ac venenatis arcu wisi vel nisl. Vestibulum diam. Aliquam pellentesque, augue quis sagittis posuere, turpis lacus congue quam, in hendrerit risus eros eget felis. Maecenas eget erat in sapien mattis porttitor. Vestibulum porttitor. Nulla facilisi. Sed a turpis eu lacus commodo facilisis. Morbi fringilla, wisi in dignissim interdum, justo lectus sagittis dui, et vehicula libero dui cursus dui. Mauris tempor ligula sed lacus. Duis cursus enim ut augue. Cras ac magna. Cras nulla. Nulla egestas. Curabitur a leo. Quisque egestas wisi eget nunc. Nam feugiat lacus vel est. Curabitur consectetur.

Suspendisse vel felis. Ut lorem lorem, interdum eu, tincidunt sit amet, laoreet vitae, arcu. Aenean faucibus pede eu ante. Praesent enim elit, rutrum at, molestie non, nonummy vel, nisl. Ut lectus eros, malesuada sit amet, fermentum eu, sodales cursus, magna. Donec eu purus. Quisque vehicula, urna sed ultricies auctor, pede lorem egestas dui, et convallis elit erat sed nulla. Donec luctus. Curabitur et nunc. Aliquam dolor odio, commodo pretium, ultricies non, pharetra in, velit. Integer arcu est, nonummy in, fermentum faucibus, egestas vel, odio.

Sed commodo posuere pede. Mauris ut est. Ut quis purus. Sed ac odio. Sed vehicula hendrerit sem. Duis non odio. Morbi ut dui. Sed accumsan risus eget odio. In hac habitasse platea dictumst. Pellentesque non elit. Fusce sed justo eu urna porta tincidunt. Mauris felis odio, sollicitudin sed, volutpat a, ornare ac, erat. Morbi quis dolor. Donec pellentesque, erat ac sagittis semper, nunc dui lobortis purus, quis congue purus metus ultricies tellus. Proin et quam. Class aptent taciti sociosqu ad litora torquent per conubia nostra, per inceptos hymenaeos. Praesent sapien turpis, fermentum vel, eleifend faucibus, vehicula eu, lacus.

Pellentesque habitant morbi tristique senectus et netus et malesuada fames ac turpis egestas.

Donec odio elit, dictum in, hendrerit sit amet, egestas sed, leo. Praesent feugiat sapien aliquet odio. Integer vitae justo. Aliquam vestibulum fringilla lorem. Sed neque lectus, consectetur at, consectetur sed, eleifend ac, lectus. Nulla facilisi. Pellentesque eget lectus. Proin eu metus. Sed porttitor. In hac habitasse platea dictumst. Suspendisse eu lectus. Ut mi mi, lacinia sit amet, placerat et, mollis vitae, dui. Sed ante tellus, tristique ut, iaculis eu, malesuada ac, dui. Mauris nibh leo, facilisis non, adipiscing quis, ultrices a, dui.

Morbi luctus, wisi viverra faucibus pretium, nibh est placerat odio, nec commodo wisi enim eget quam. Quisque libero justo, consectetur a, feugiat vitae, porttitor eu, libero. Suspendisse sed mauris vitae elit sollicitudin malesuada. Maecenas ultricies eros sit amet ante. Ut venenatis velit. Maecenas sed mi eget dui varius euismod. Phasellus aliquet volutpat odio. Vestibulum ante ipsum primis in faucibus orci luctus et ultrices posuere cubilia Curae; Pellentesque sit amet pede ac sem eleifend consectetur. Nullam elementum, urna vel imperdiet sodales, elit ipsum pharetra ligula, ac pretium ante justo a nulla. Curabitur tristique arcu eu metus. Vestibulum lectus. Proin mauris. Proin eu nunc eu urna hendrerit faucibus. Aliquam auctor, pede consequat laoreet varius, eros tellus scelerisque quam, pellentesque hendrerit ipsum dolor sed augue. Nulla nec lacus.

Suspendisse vitae elit. Aliquam arcu neque, ornare in, ullamcorper quis, commodo eu, libero. Fusce sagittis erat at erat tristique mollis. Maecenas sapien libero, molestie et, lobortis in, sodales eget, dui. Morbi ultrices rutrum lorem. Nam elementum ullamcorper leo. Morbi dui. Aliquam sagittis. Nunc placerat. Pellentesque tristique sodales est. Maecenas imperdiet lacinia velit. Cras non urna. Morbi eros pede, suscipit ac, varius vel, egestas non, eros. Praesent malesuada, diam id pretium elementum, eros sem dictum tortor, vel consectetur odio sem sed wisi.

Sed feugiat. Cum sociis natoque penatibus et magnis dis parturient montes, nascetur ridiculus mus. Ut pellentesque augue sed urna. Vestibulum diam eros, fringilla et, consectetur eu, nonummy id, sapien. Nullam at lectus. In sagittis ultrices mauris. Curabitur malesuada erat sit amet massa. Fusce blandit. Aliquam erat volutpat. Aliquam euismod. Aenean vel lectus. Nunc imperdiet justo nec dolor.

1.1 YOLO

Etiam euismod. Fusce facilisis lacinia dui. Suspendisse potenti. In mi erat, cursus id, nonummy sed, ullamcorper eget, sapien. Praesent pretium, magna in eleifend egestas, pede pede pretium lorem, quis consectetur tortor sapien facilisis magna. Mauris quis magna varius nulla scelerisque imperdiet. Aliquam non quam. Aliquam porttitor quam a lacus. Praesent vel arcu ut tortor cursus volutpat. In vitae pede quis diam bibendum placerat. Fusce elementum convallis neque. Sed dolor orci, scelerisque ac, dapibus nec, ultricies ut, mi. Duis nec dui quis leo sagittis commodo.

Aliquam lectus. Vivamus leo. Quisque ornare tellus ullamcorper nulla. Mauris porttitor pharetra tortor. Sed fringilla justo sed mauris. Mauris tellus. Sed non leo. Nullam elementum,

magna in cursus sodales, augue est scelerisque sapien, venenatis congue nulla arcu et pede. Ut suscipit enim vel sapien. Donec congue. Maecenas urna mi, suscipit in, placerat ut, vestibulum ut, massa. Fusce ultrices nulla et nisl.

Etiam ac leo a risus tristique nonummy. Donec dignissim tincidunt nulla. Vestibulum rhoncus molestie odio. Sed lobortis, justo et pretium lobortis, mauris turpis condimentum augue, nec ultricies nibh arcu pretium enim. Nunc purus neque, placerat id, imperdiet sed, pellentesque nec, nisl. Vestibulum imperdiet neque non sem accumsan laoreet. In hac habitasse platea dictumst. Etiam condimentum facilisis libero. Suspendisse in elit quis nisl aliquam dapibus. Pellentesque auctor sapien. Sed egestas sapien nec lectus. Pellentesque vel dui vel neque bibendum viverra. Aliquam porttitor nisl nec pede. Proin mattis libero vel turpis. Donec rutrum mauris et libero. Proin euismod porta felis. Nam lobortis, metus quis elementum commodo, nunc lectus elementum mauris, eget vulputate ligula tellus eu neque. Vivamus eu dolor.

Nulla in ipsum. Praesent eros nulla, congue vitae, euismod ut, commodo a, wisi. Pellentesque habitant morbi tristique senectus et netus et malesuada fames ac turpis egestas. Aenean nonummy magna non leo. Sed felis erat, ullamcorper in, dictum non, ultricies ut, lectus. Proin vel arcu a odio lobortis euismod. Vestibulum ante ipsum primis in faucibus orci luctus et ultrices posuere cubilia Curae; Proin ut est. Aliquam odio. Pellentesque massa turpis, cursus eu, euismod nec, tempor congue, nulla. Duis viverra gravida mauris. Cras tincidunt. Curabitur eros ligula, varius ut, pulvinar in, cursus faucibus, augue.

Nulla mattis luctus nulla. Duis commodo velit at leo. Aliquam vulputate magna et leo. Nam vestibulum ullamcorper leo. Vestibulum condimentum rutrum mauris. Donec id mauris. Morbi molestie justo et pede. Vivamus eget turpis sed nisl cursus tempor. Curabitur mollis sapien condimentum nunc. In wisi nisl, malesuada at, dignissim sit amet, lobortis in, odio. Aenean consequat arcu a ante. Pellentesque porta elit sit amet orci. Etiam at turpis nec elit ultricies imperdiet. Nulla facilisi. In hac habitasse platea dictumst. Suspendisse viverra aliquam risus. Nullam pede justo, molestie nonummy, scelerisque eu, facilisis vel, arcu.

Curabitur tellus magna, porttitor a, commodo a, commodo in, tortor. Donec interdum. Praesent scelerisque. Maecenas posuere sodales odio. Vivamus metus lacus, varius quis, imperdiet quis, rhoncus a, turpis. Etiam ligula arcu, elementum a, venenatis quis, sollicitudin sed, metus. Donec nunc pede, tincidunt in, venenatis vitae, faucibus vel, nibh. Pellentesque wisi. Nullam malesuada. Morbi ut tellus ut pede tincidunt porta. Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. Etiam congue neque id dolor.

Donec et nisl at wisi luctus bibendum. Nam interdum tellus ac libero. Sed sem justo, laoreet vitae, fringilla at, adipiscing ut, nibh. Maecenas non sem quis tortor eleifend fermentum. Etiam id tortor ac mauris porta vulputate. Integer porta neque vitae massa. Maecenas tempus libero a libero posuere dictum. Vestibulum ante ipsum primis in faucibus orci luctus et ultrices posuere cubilia Curae; Aenean quis mauris sed elit commodo placerat. Class aptent taciti sociosqu ad litora torquent per conubia nostra, per inceptos hymenaeos. Vivamus

rhoncus tincidunt libero. Etiam elementum pretium justo. Vivamus est. Morbi a tellus eget pede tristique commodo. Nulla nisl. Vestibulum sed nisl eu sapien cursus rutrum.

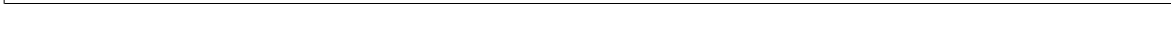
2 Theory

--

--

3 Method

--



4 Results

--

--

5 Discussion

--

6 Conclusions

--

--

References

- Adams, R. and Essex, C. (2010). *Calculus: A Complete Course*. 7th ed. Pearson, Toronto. ISBN: 978-0-321-54928-0.
- Ali, S. and Shah, M. (2007). "A Lagrangian Particle Dynamics Approach for Crowd Flow Segmentation and Stability Analysis". In: *2007 IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*, pp. 1–6. ISSN: 1063-6919.
- Bogacki, P. and Shampine, L. (1989). "A 3(2) Pair of Runge-Kutta Formulas". In: *Applied Mathematics Letters* 2.4, pp. 321–325. ISSN: 0893-9659.
- Bogacki, P. and Shampine, L. (1996). "An Efficient Runge-Kutta (4, 5) Pair". In: *Computers & Mathematics with Applications* 32.6, pp. 15–28. ISSN: 0898-1221.
- Cargill, M. and O'Connor, P. (2013). *Writing Scientific Research Articles: Strategy and Steps*. 2nd ed. John Wiley & Sons. ISBN: 9781118570708.
- Dormand, J., Lockyer, M., et al. (1989). "Global error estimation with Runge-Kutta triplets". In: *Computers and Mathematics with Applications* 18.9, pp. 836–846.
- Dormand, J. and Prince, P. (1980). "A family of embedded Runge-Kutta formulae". In: *Journal of Computational and Applied Mathematics* 6.1, pp. 19–26. ISSN: 0377-0427.
- Dormand, J. and Prince, P. (1986). "A reconsideration of some embedded Runge-Kutta formulae". In: *Journal of Computational and Applied Mathematics* 15.2, pp. 203–211. ISSN: 0377-0427.
- Farazmand, M. and Haller, G. (2011). "Erratum and addendum to 'A variational theory of hyperbolic Lagrangian coherent structures' [Physica D 240 (2011) 547–598]". In: *Physica D: Nonlinear Phenomena* 241.4, pp. 439–441. ISSN: 0167-2789.
- Farazmand, M. and Haller, G. (2012). "Computing Lagrangian coherent structures from their variational theory". In: *Chaos: An Interdisciplinary Journal of Nonlinear Science* 22.1, p. 013128. ISSN: 1054-1500.
- Fehlberg, E. (1974). *Classical fifth-, sixth-, seventh- and eighth order Runge-Kutta formulas with stepsize control*. Tech. rep. NASA-TR-R-432. NASA Marshall Space Flight Center, Huntsville, AL, United States.
- Gough, M. K. et al. (2017). "Persistent Lagrangian transport patterns in the northwestern Gulf of Mexico". Unpublished. Preprint available at <https://arxiv.org/abs/1710.04027> (retrieved December 19, 2017).
- Hairer, E., Nørsett, S. P., and Wanner, G. (1993). *Solving Ordinary Differential Equations I: Nonstiff Problems*. 2nd ed. Springer-Verlag Berlin Heidelberg. ISBN: 978-3-540-56670-0. Corrected 3rd printing, 2008.
- Hairer, E. and Wanner, G. (1996). *Solving Ordinary Differential Equations II: Stiff and Differential-Algebraic Problems*. 2nd ed. Springer-Verlag Berlin Heidelberg. ISBN: 978-3-642-05221-7. Corrected 2nd printing, 2002.
- Haller, G. and Yuan, G. (2000). "Lagrangian coherent structures and mixing in two-dimensional turbulence". In: *Physica D: Nonlinear Phenomena* 147.3, pp. 352–370. ISSN: 0167-2789.
- Haller, G. (2010). "A variational theory of hyperbolic Lagrangian Coherent Structures". In: *Physica D: Nonlinear Phenomena* 240.7, pp. 547–598. ISSN: 0167-2789.

- Haller, G. (2015). "Lagrangian coherent structures". In: *Annual Review of Fluid Mechanics* 47, pp. 137–162.
- Institute of Electrical and Electronics Engineers (2008). "IEEE Standard for Floating-Point Arithmetic". In: *IEEE Std 754-2008*, pp. 1–70. ISBN: 978-0-7381-5752-8.
- Lekien, F. and Ross, S. D. (2010). "The computation of finite-time Lyapunov exponents on unstructured meshes and for non-Euclidean manifolds". In: *Chaos: An Interdisciplinary Journal of Nonlinear Science* 20.1. ISSN: 1054-1500.
- Olascoaga, M. et al. (2008). "Tracing the early development of harmful algal blooms on the West Florida Shelf with the aid of Lagrangian coherent structures". In: *Journal of Geophysical Research: Oceans* 113.C12. ISSN: 0148-0227.
- Onu, K., Huhn, F., and Haller, G. (2015). "LCS Tool: A computational platform for Lagrangian coherent structures". In: *Journal of Computational Science* 7, pp. 26–36. ISSN: 1877-7503.
- Peacock, T. and Haller, G. (2013). "Lagrangian coherent structures: The hidden skeleton of fluid flows". In: *Physics Today* 66.2, p. 41.
- Prince, P. and Dormand, J. (1981). "High order embedded Runge-Kutta formulae". In: *Journal of Computational and Applied Mathematics* 7.1, pp. 67–75. ISSN: 0377-0427.
- Shadden, S. C., Lekien, F., and Marsden, J. E. (2005). "Definition and properties of Lagrangian coherent structures from finite-time Lyapunov exponents in two-dimensional aperiodic flows". In: *Physica D: Nonlinear Phenomena* 212.3, pp. 271–304. ISSN: 0167-2789.
- Strogatz, S. H. (2014). *Nonlinear Dynamics and Chaos: With Applications to Physics, Biology, Chemistry, and Engineering*. Westview press, Colorado. ISBN: 978-0-813-34910-7.
- van Sebille, E. et al. (2018). "Lagrangian ocean analysis: Fundamentals and practices". In: *Ocean Modelling* 121, pp. 47–75. ISSN: 1463-5003.

A Appendix A