

Nonlinear Kalman Filter Parameter Estimation Algorithm for Low-Thrust Space Trajectory Optimization

Ran Zhang, and Chao Han

Beihang University, Xueyuan Road No. 37, 100191, Beijing, China

Abstract

Suspendisse potenti. Suspendisse quis sem elit, et mattis nisl. Phasellus consequat erat eu velit rhoncus non pharetra neque auctor. Phasellus eu lacus quam. Ut ipsum dolor, euismod aliquam congue sed, lobortis et orci. Mauris eget velit id arcu ultricies auctor in eget dolor. Pellentesque suscipit adipiscing sem, imperdiet laoreet dolor elementum ut. Mauris condimentum est sed velit lacinia placerat. Vestibulum ante ipsum primis in faucibus orci luctus et ultrices posuere cubilia Curae; Nullam diam metus, pharetra vitae euismod sed, placerat ultrices eros. Aliquam tincidunt dapibus venenatis. In interdum tellus nec justo accumsan aliquam. Nulla sit amet massa augue.

1. Introduction

The present paper studies the minimum-time and minimum-fuel optimal orbital transfer problems using low thrust.

Low-thrust propulsion systems including solar electric propulsion and solar sails, have been implemented in several deep space missions[1, 2, 3] and geosynchronous satellite station keeping for a long time[4]. Solar electric propulsions(SEP) were used to raise orbit to salvage missions from launcher or chemical engine failures like ARTEMIS[5] and AEHF-1. High specific impulse of the SEP may increase the mass fraction of the payload and expand the lifetime of satellite. Recently, dual all-electric-propelled communication satellites based on the Boeing 702SP platform were put into geosynchronous transfer orbit by Falcon 9 rocket. The satellites then spiraled to GEO orbit using SEP in about six months. The application of SEP reduces the launch cost significantly and increases the flexibility in choice of launch vehicles.

15 Electric propulsion represents a solid established technology that can pro-
16 vide benefits over a large number of spacecraft missions and enable new chal-
17 lenging applications, motivated by the high fuel efficiency of this technology.
18 The use of EP technologies for station-keeping, orbit transfer of commercial
19 geostationary satellites, and deep space missions is widely discussed in the
20 literature.

21 Maecenas [6] fermentum [7] urna ac sapien tincidunt lobortis. Nunc feu-
22 giat faucibus varius. Ut sed purus nunc. Ut eget eros quis lectus mollis
23 pharetra ut in tellus. Pellentesque ultricies velit sed orci pharetra et fer-
24 mentum lacus imperdiet. Class aptent taciti sociosqu ad litora torquent
25 per conubia nostra, per inceptos himenaeos. Suspendisse commodo ultrices
26 mauris, condimentum hendrerit lorem condimentum et. Pellentesque urna
27 augue, semper et rutrum ac, consequat id quam. Proin lacinia aliquet justo,
28 ut suscipit massa commodo sit amet. Proin vehicula nibh nec mauris tempor
29 interdum. Donec orci ante, tempor a viverra vel, volutpat sed orci.

30 Pellentesque habitant morbi tristique senectus et netus et malesuada
31 fames ac turpis egestas. Pellentesque quis interdum velit. Nulla tincidunt
32 sem quis nisi molestie nec hendrerit nulla interdum. Nunc at lectus at neque
33 dapibus dapibus sit amet in massa. Nam ut nisl in diam consectetur dig-
34 nissim. Sed lacinia diam id nunc suscipit vitae semper lorem semper. In
35 vehicula velit at tortor fringilla elementum aliquam erat blandit. Donec
36 pretium libero et neque vehicula blandit. Curabitur consequat interdum sem
37 at ultrices. Sed at tincidunt metus. Etiam vulputate, lacus eget fermentum
38 posuere, ante mi dignissim augue, et ultrices felis tortor sed nisl.

39 • Bullet point one

40 • Bullet point two

41 1. Numbered list item one

42 2. Numbered list item two

43 1.1. Subsection One

44 Quisque elit ipsum, porttitor et imperdiet in, facilisis ac diam. Nunc
45 facilisis interdum felis eget tincidunt. In condimentum fermentum leo, non
46 consequat leo imperdiet pharetra. Fusce ac massa ipsum, vel convallis diam.
47 Quisque eget turpis felis. Curabitur posuere, risus eu placerat porttitor,
48 magna metus mollis ipsum, eu volutpat nisl erat ac justo. Nullam semper,

49 mi at iaculis viverra, nunc velit iaculis nunc, eu tempor ligula eros in nulla.
50 Aenean dapibus eleifend convallis. Cras ut libero tellus. Integer mollis eros
51 eget risus malesuada fringilla mattis leo facilisis. Etiam interdum turpis
52 eget odio ultricies sed convallis magna accumsan. Morbi in leo a mauris
53 sollicitudin molestie at non nisl.

| Treatments | Response 1 | Response 2 |
|-------------|------------|------------|
| Treatment 1 | 0.0003262 | 0.562 |
| Treatment 2 | 0.0015681 | 0.910 |
| Treatment 3 | 0.0009271 | 0.296 |

Table 1: Table caption

54 1.2. Subsection Two

55 Donec eget ligula venenatis est posuere eleifend in sit amet diam. Vestibu-
56 lum sollicitudin mauris ac augue blandit ultricies. Nulla facilisi. Etiam ut
57 turpis nunc. Praesent leo orci, tincidunt vitae feugiat eu, feugiat a massa.
58 Duis mauris ipsum, tempor vel condimentum nec, suscipit non mi. Fusce
59 quis urna dictum felis posuere sagittis ac sit amet erat. In in ultrices lectus.
60 Nulla vitae ipsum lectus, a gravida erat. Etiam quam nisl, blandit ut porta
61 in, accumsan a nibh. Phasellus sodales euismod dolor sit amet elementum.
62 Phasellus varius placerat erat, nec gravida libero pellentesque id. Fusce nisi
63 ante, euismod nec cursus at, suscipit a enim. Nulla facilisi.



Figure 1: Figure caption

64 Integer risus dui, condimentum et gravida vitae, adipiscing et enim. Ali-
65 quam erat volutpat. Pellentesque diam sapien, egestas eget gravida ut, tem-
66 por eu nulla. Vestibulum mollis pretium lacus eget venenatis. Fusce gravida
67 nisl quis est molestie eu luctus ipsum pretium. Maecenas non eros lorem, vel
68 adipiscing odio. Etiam dolor risus, mattis in pellentesque id, pellentesque

69 eu nibh. Mauris nec ante at orci ultricies placerat ac non massa. Aenean
70 imperdiet, ante eu sollicitudin vestibulum, dolor felis dapibus arcu, sit amet
71 fermentum urna nibh sit amet mauris. Suspendisse adipiscing mollis dolor
72 quis lobortis.

$$e = mc^2 \tag{1}$$

73 2. The Second Section

74 Reference to Section 1. Etiam congue sollicitudin diam non porttitor.
75 Etiam turpis nulla, auctor a pretium non, luctus quis ipsum. Fusce pretium
76 gravida libero non accumsan. Donec eget augue ut nulla placerat hendrerit
77 ac ut mi. Phasellus euismod ornare mollis. Proin tempus fringilla ultricies.
78 Donec pretium feugiat libero quis convallis. Nam interdum ante sed magna
79 congue eu semper tellus sagittis. Curabitur eu augue elit.

80 Aenean eleifend purus et massa consequat facilisis. Etiam volutpat plac-
81 erat dignissim. Ut nec nibh nulla. Aliquam erat volutpat. Nam at massa
82 velit, eu malesuada augue. Maecenas sit amet nunc mauris. Maecenas eu
83 ligula quis turpis molestie elementum nec at est. Sed adipiscing neque ac
84 sapien viverra sit amet vestibulum arcu rhoncus.

85 Vivamus pharetra nibh in orci euismod congue. Pellentesque habitant
86 morbi tristique senectus et netus et malesuada fames ac turpis egestas. Quisque
87 lacus diam, congue vel laoreet id, iaculis eu sapien. In id risus ac leo pel-
88 lentesque pellentesque et in dui. Etiam tincidunt quam ut ante vestibulum
89 ultricies. Nam at rutrum lectus. Aenean non justo tortor, nec mattis justo.
90 Aliquam erat volutpat. Nullam ac viverra augue. In tempus venenatis nibh
91 quis semper. Maecenas ac nisl eu ligula dictum lobortis. Sed lacus ante,
92 tempor eu dictum eu, accumsan in velit. Integer accumsan convallis portti-
93 tor. Maecenas pretium tincidunt metus sit amet gravida. Maecenas pretium
94 blandit felis, ac interdum ante semper sed.

95 In auctor ultrices elit, vel feugiat ligula aliquam sed. Curabitur aliquam
96 elit sed dui rhoncus consectetur. Cras elit ipsum, lobortis a tempor at, viverra
97 vitae mi. Cras sed urna sed eros bibendum faucibus. Morbi vel leo orci, vel
98 faucibus orci. Vivamus urna nisl, sodales vitae posuere in, tempus vel tellus.
99 Donec magna est, luctus non commodo sit amet, placerat et enim.

100 **References**

- 101 [1] M. D. Rayman, P. A. Chadbourne, J. S. Culwell, S. N. Williams, Mission
102 design for deep space 1: a low-thrust technology validation mission, *Acta*
103 *astronautica* 45 (1999) 381–388.
- 104 [2] J. Kugelberg, P. Bodin, S. Persson, P. Rathsmann, Accommodating elec-
105 tric propulsion on smart-1, *Acta Astronautica* 55 (2004) 121–130.
- 106 [3] Y. Tsuda, O. Mori, R. Funase, H. Sawada, T. Yamamoto, T. Saiki,
107 T. Endo, J. Kawaguchi, Flight status of ikaros deep space solar sail
108 demonstrator, *Acta Astronautica* 69 (2011) 833–840.
- 109 [4] S. R. Oleson, R. M. Myers, C. A. Kluever, J. P. Riehl, F. M. Curran,
110 Advanced propulsion for geostationary orbit insertion and north-south
111 station keeping, *Journal of Spacecraft and Rockets* 34 (1997) 22–28.
- 112 [5] R. Killinger, R. Kukies, M. Surauer, A. Tomasetto, L. van Holtz, Artemis
113 orbit raising inflight experience with ion propulsion, *Acta Astronautica*
114 53 (2003) 607–621.
- 115 [6] J. M. Smith, A. B. Jones, Book Title, Publisher, 7th edition, 2012.
- 116 [7] A. B. Jones, J. M. Smith, Article Title, *Journal Title* 13 (2013) 123–456.