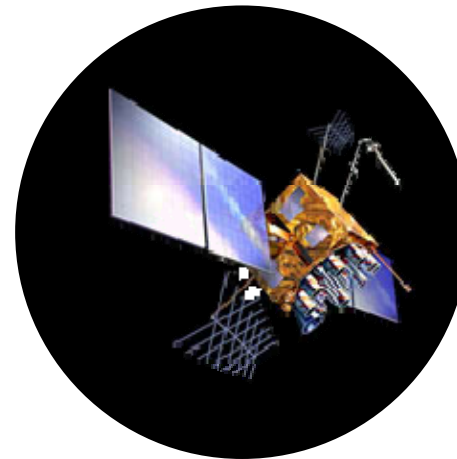


Practical Training for Students in Simulated Satellite Navigation for Universitetskiy-Tatyana Satellite (an Educational Facility)



Kozlov A.V., Golovan A.A., Vavilova N.B., Demidov O.V., Panev A.A.
Moscow State Univ, dept. of Applied Mechanics and Control, Navigation and Control lab.

Brief overview (page 1)

Общее описание (стр. 1)

- **An educational facility has been developed to provide a basic introduction for students into satellite navigation, basics of celestial mechanics, and computational techniques used in navigation**

Практическое учебное пособие, разработанное для ознакомления студентов со спутниковой навигацией, элементами небесной механики и вычислительными методами, применяемыми в навигации

- **Takes the Universitetskiy-Tatyana satellite as an object for simulation process as if navigation hardware has been mounted on the satellite**

Задача навигации имитируется для спутника «Университетский-Татьяна», как будто бы на нем установлено навигационное оборудование

Brief overview (page 2)

Общее описание (стр. 2)

- **Actual navigation telemetry isn't available as yet from the Universitetskiy-Tatyana - so the training does not contain real-time observation process and on-the-fly resolution**

В настоящее время реальные навигационные данные не передаются со спутника «Университетский-Татьяна», поэтому пособие не включает в себя обработку измерений и решение задач навигации в реальном времени

Brief overview (page 3) - primary elements

Общее описание (стр. 3) – основные части

- Theory - 9 topics

Теоретическая часть - 9 разделов

- Practical demonstration software - 4 sections

Практическая часть (демонстрация) - 4 раздела

- Feasible exercises

Упражнения и задачи

- References

Список литературы

Theory (page 1)

Теоретическая часть (стр. 1)

1. Basic concepts of celestial mechanics: the mathematical description of a motion under a central force, Kepler's laws of orbital motion

Основы небесной механики, движение точечной массы в поле центральной силы, законы Кеплера

2. Reference frames used in navigation: inertial, orbital, Greenwich and geographic; transitions between them

Системы координат в задачах навигации: инерциальная, орбитальная, Гринвичская и географическая; переход от одной системы координат к другой

Theory (page 2)

Теоретическая часть (стр. 2)

3. Sets of formulas to be used to calculate orbital motion

Формулы для расчета движения по орбите

- **algorithms that allow determining object's coordinates when it moves along Kepler's orbit with known orbital parameters (Keplerian elements)**

алгоритмы определения координат объекта, движущегося вдоль Кеплеровской орбиты, по параметрам этой орбиты (Кеплеровским элементам)

- **vice versa, given object's coordinates and velocity at the particular single epoch one can compute orbital parameters**

обратно, по координатам и скорости объекта в один момент времени возможно вычислить параметры орбиты

Theory (page 3)

Теоретическая часть (стр. 3)

4. General approaches to positioning with the help of satellite radio-navigation systems

Общие принципы определения положения и скорости объекта с использованием спутниковых радионавигационных систем (СРНС)

5, 6. Description of the most widely used GPS and GLONASS, their structure and principles of operation

Описание наиболее широко используемых СРНС – GPS и ГЛОНАСС, их состав и принципы функционирования

Theory (page 4)

Теоретическая часть (стр. 4)

7. Observables in satellite navigation; code, phase and Doppler measurements

Измерения в спутниковых навигационных системах: кодовые, фазовые и доплеровские

- errors due to radio-signal propagation through space

ошибки, вызванные распространением радиосигнала в пространстве

- single- and double-differencing; error canceling

одинарные и двойные разности измерений; исключение нежелательных составляющих измерений

- selection of satellite constellation in view

выбор рабочего созвездия спутников

Theory (page 5)

Теоретическая часть (стр. 5)

8. Universitetskiy-Tatyana's motion characterization – an introduction of how the satellite circulates around the Earth

Характеристика движения спутника «Университетский-Татьяна» вокруг Земли

9. An iterative least-squares method with reference to positioning by processing GPS code observables

Метод наименьших квадратов с итерациями при определении положения приемника радионавигационных сигналов

Practical demonstration software (page 1)

Практическая часть (стр. 1)

- An appearance of navigation satellites' and Universitetskiy-Tatyana's orbits

Внешний вид орбит навигационных спутников и спутника «Университетский-Татьяна»

- Structure and description of ephemeris broadcasted in standard frames of navigation messages and RINEX-files

Структура и описание эфемеридных данных, передаваемых в стандартных кадрах навигационных сообщений и файлах формата RINEX

Практикум по спутниковой навигации

Движение спутников | Навигационные спутниковые измерения | Решение навигационной задачи | Параметры орбиты и прогноз

Эфемеридные данные системы GPS KS9K2111.02N

sat number	31	29	27	26
epoch YY	2	2	2	2
epoch MM	7	7	7	7
epoch DD	30	30	30	30
epoch hour	4	4	4	4
epoch min	0	0	0	0
epoch sec	0	0	0	0
clock bias	0.00034799985587	0.00013170018792	6.26272521913052	7.295
clock drift	6.93489710101858	2.70574673777446	1.5688783605583E	2.853
clk drift rate	0	0	0	0
IODE	213	170	62	173
Crs	32.75	2.40625	-65.53125	2.812
Delta n	5.44986944461812	4.40304015469906	4.87020246353609	4.382

Эфемеридные данные системы ГЛОНАСС GRP_3211.00G

sat number	22	15	7	17
epoch YY	2000	2000	2000	2000
epoch MM	11	11	11	11
epoch DD	16	16	16	16
epoch hour	6	7	9	9
epoch min	45	45	15	45
epoch sec	0	0	0	0
clock bias	3.05315479636E-5	0.00022874213755	-8.4299441874E-5	1.225
clock drift	0	2.72848410532E-1	-9.09494701773E-1	-3.63
message time	23496	27687	32687	35987
health	0	0	0	0
freq N	10	11	7	5
age of info	1	1	1	0

Спутники GPS Время от: 0 с

Спутники ГЛОНАСС до: 6300 с

Спутник "Татьяна" Частота: 0.01 Гц

0	0.000000000	0	5.588570129438E+006	4.695208472006E+006
1	100.000000000	0	5.541697695485E+006	4.705165925169E+006
2	200.000000000	0	5.428179506922E+006	4.668193016851E+006
3	300.000000000	0	5.278404278259E+006	4.585596961461E+006
4	400.000000000	0	5.062360000118E+006	4.459044417610E+006
5	500.000000000	0	4.794629271715E+006	4.290625056514E+006

Параметры орбиты спутника "Татьяна" OSC.000

эпоха	время, сек	N² приемника	0	i
0	0	0	0.7	1.44775

Reading REC.002...

Practical demonstration software (page 2)

Практическая часть (стр. 2)

- An appearance of satellite constellation in view

Внешний вид рабочего созвездия спутников

- Actual satellites' coordinates and velocities in Greenwich reference frame

Реальные координаты и скорости спутников в Гринвичской системе координат

- Simulation of observation process: pseudoranges and pseudo-velocities

Имитация спутниковых измерений: псевдодальности и псевдоскорости

Координаты спутников, дальности, кодовые и доплеровские измерения для спутников GPS на текущую эпоху

№ спутника	1	2	4
время, сек	1800	1800	1800
X	-7044708.644444	-296164.9154514	-2228
Y	-14664955.32682	-22872038.10707	62758
Z	21149449.48783	14491489.22594	13336
дальность	20825940.4730173	23915195.191675	22245
псевдодальность	21040699.2242	24140467.56937	22697
псевдоскорость	-2426.753074217	-3028.295020282	-2738

Координаты спутников, дальности, кодовые и доплеровские измерения для спутников ГЛОНАСС на текущую эпоху

№ спутника	1	7	8
время, сек	1800	1800	1800
X	5095729.733447	-21401858.49365	-1191
Y	9508843.665853	13749121.15724	16746
Z	23077654.1884	-1830355.031628	15089
дальность	19994794.6282834	25550477.9465517	21240
псевдодальность	20437044.4528	25991903.77131	21761
псевдоскорость	5408.806019361	-884.4964608998	2351

Координаты и скорости спутника "Татьяна" на текущую эпоху

№ приемника	0
время, сек	1800
X	-1930557.450246
Y	-196242.0805856
Z	7070330.511602
Vx	-5940.105860888
Vy	-3897.00373608
Vz	-1703.559175833

Reading REC.002...

Practical demonstration software (page 3)

Практическая часть (стр. 3)

- A minimized functional of least-squares method

Минимизируемый функционал в задаче наименьших квадратов

- Practical least-squares solution

Практическое решение задачи методом наименьших квадратов

Решение навигационной задачи для приемника

Координаты приемника: REC_SOL.000

Измерения GPS

Координаты спутников: GPS_SAT.000
Измерения: GPS_OBS.000

Измерения ГЛОНАСС

Координаты спутников: GLO_SAT.000
Измерения: GLO_OBS.000

0 << Предыдущая эпоха 18 Следующая эпоха >> 63

Задача минимизации квадратов невязок по положению - метод наименьших квадратов (МНК):

+ ((X - 5095729.732447) ² + (Y - 9508849.665852) ² + (Z - 29077654.1884) ² - 20427044.4528) ² +	
+ ((X - -21401858.49265) ² + (Y - 13749121.15724) ² + (Z - -1820255.021628) ² - 25991902.77131) ² +	
+ ((X - -11919094.24687) ² + (Y - 16746662.22025) ² + (Z - 15089191.52716) ² - 21761104.35202) ² +	
+ ((X - -9104487.792867) ² + (Y - 11282925.53666) ² + (Z - 20946224.22462) ² - 19809516.42717) ² +	
+ ((X - 16988245.66611) ² + (Y - -1724956.78685) ² + (Z - 18929850.60758) ² - 22574529.6597) ² +	
+ ((X - -7044708.644444) ² + (Y - -14664955.22682) ² + (Z - 21149449.48782) ² - 21040699.2242) ² +	
+ ((X - -296164.9154514) ² + (Y - -22872038.10707) ² + (Z - 14491489.22594) ² - 24140467.56937) ² +	
+ ((X - -22269956.72255) ² + (Y - 6275829.18802) ² + (Z - 12226226.78107) ² - 22697428.96295) ² +	

Решение задачи по положению и по скорости:

X = -1913649.135923 Y = -285909.849002 Z = 7060432.121908 Vx = -5848.536761 Vy = -4082.087703 Vz = -1722.422465

Reading REC.002...

Practical demonstration software (page 4)

Практическая часть (стр. 4)

- A comparison between the true Universitetskiy-Tatyana orbit and that obtained from least-squares solution

Сравнение истинной орбиты спутника «Университетский-Татьяна» с орбитой решений навигационной задачи

- Orbital parameters determination using navigation solution at the particular epoch

Определение параметров орбиты по решению навигационной задачи в один момент времени

- Satellite propagation forecast based on current navigation solution

Прогнозирование движения спутника по текущему решению навигационной задачи

Практикум по спутниковой навигации

Движение спутников | Навигационные спутниковые измерения | Решение навигационной задачи | Параметры орбиты и прогноз

Истинные положение и скорость приемника

Координаты и скорости приемника: REC.000

X =	-1330557.450246	Y =	-136242.0605856	Z =	7070320.511602
Vx =	-5940.105860888	Vy =	-3897.00373608	Vz =	-1703.559175832

0 << Предыдущая эпоха 18 Следующая эпоха >> 63

Решение навигационной задачи для приемника

Координаты и скорости приемника: REC_SOL.000

X =	-1913649.135923	Y =	-285909.849003	Z =	7060432.121908
Vx =	-5848.526761	Vy =	-4082.087703	Vz =	-1722.422465

Параметры орбиты, вычисленные по координатам и скоростям

Параметры орбиты: OSC.001 Создать

a =	0.70764	i =	1.436211	omega =	7748362.217853
e =	0.072976	tau =	-3.347168		

Прогноз движения спутника на интервал времени по текущим параметрам орбиты

Интервал от: 0 с до: 7500 с Частота: 0.01 Гц

Прогнозируемые координаты и скорости приемника: REC.002 Создать

0	0.000000000	0	5.992829700352E+006	5.427056982040E+00
1	100.000000000	0	5.832141922779E+006	5.328665278885E+00
2	200.000000000	0	5.620466862094E+006	5.195199029922E+00
3	300.000000000	0	5.385232764792E+006	5.027862691815E+00
4	400.000000000	0	5.098627204090E+006	4.828061214868E+00

Время: 1000

Reading REC.002...

Feasible exercises – basic level (page 1)

Упражнения - общий уровень (стр. 1)

1. Transitions between reference frames

Переход от одной системы координат к другой

2. Satellite coordinates determination relying on given orbital parameters

Вычисление координат спутника по данным параметрам орбиты

3. Orbital parameters calculation by coordinates and velocity at the particular epoch

Вычисление параметров орбиты по координатам и скорости в один момент времени

Feasible exercises – basic level (page 2)

Упражнения - общий уровень (стр. 2)

4. Satellite constellation selection by calculating elevation angles

Выбор рабочего созвездия при помощи вычисления углов возвышения

5. One iteration of iterative least-squares solution; linearization of minimized functional

Итерация метода наименьших квадратов; линейаризация минимизируемого функционала

Feasible exercises – advanced level

Упражнения – специализированный уровень

1. Geometrical dilution of precision (GDOP), practical calculation and evaluation

Вычисление и оценка геометрического фактора ухудшения точности

2. Actual measurement modeling using ionosphere and troposphere delays, clock drifts etc.

Практическое моделирование навигационных измерений с учетом ионосферной и тропосферной задержек, уходов часов и т.д.

3. Positioning in the presence of measurement blunder; blunder detection

Решение задачи при наличии сбоя в измерениях; обнаружение сбоя

References

Список литературы

1. Вавилова Н.Б., Голован А.А., Парусников Н.А., Трубников С.А., Математические модели и алгоритмы обработки измерений спутниковой навигационной системы GPS, Москва, МГУ, 2001 (Only in Russian language)
2. Шешаевич В.С., Дмитриев П.С., Иванцевич Н.В. и др., Сетевые спутниковые радионавигационные системы, 2-е издание, Москва, Радио и связь, 1993 (Only in Russian language)
3. Дёмин В.Г., Движение искусственного спутника в центральном поле тяготения, Москва, Наука, 1976 (Only in Russian language)
4. Голубев Ю.Ф., Основы теоретической механики, Москва, МГУ 2000 (Only in Russian language)
5. Lawson Ch., Hanson R. Solving least squares problems, Prentice-Hall, Inc., Englewood Cliffs, NJ, 1974 (Лоусон Ч., Хенсон Р., Численное решение задач методом наименьших квадратов, Перев. с англ., Москва, Наука, 1986)