

Сетевые спутниковые радионавигационные системы

Под редакцией П. П. Дмитриева и В. С. Шебшаевича

ББК 32.95
С28
УДК 621.396.98:629.783

АВТОРЫ: В. С. ШЕБШАЕВИЧ, П. П. ДМИТРИЕВ, Н. В. ИВАНЦЕВИЧ, А. В. КАЛУГИН, Э. Г. КОВАЛЕВСКИЙ, В. Ю. КУТИКОВ, Ю. А. МАКСЮТЕНКО, Ю. Б. МОЛЧАНОВ

Сетевые спутниковые радионавигационные системы / В. С. Шебшаевич, П. П. Дмитриев, Н. В. Иванцевич и др.; Под ред. П. П. Дмитриева и В. С. Шебшаевича. — М.: Радио и связь, 1982. — 272 с., ил.

В пер.: 1 р. 20 к.

Книга посвящена новому направлению развития радионавигационных средств — сетевым спутниковым радионавигационным системам (ССРНС). Даны принципы построения, навигационного использования и комплексного проектирования ССРНС. Рассмотрены основные свойства ССРНС как больших измерительно-вычислительных систем высокого класса точности. Анализируется выбор сигналов и структуры многоэлементных сетей НИСЗ, приводятся конечные и итерационные алгоритмы решения навигационных задач, дается анализ точностных характеристик при различных вариантах организации измерений.

Предназначена для инженерно-технических работников, занимающихся радиотехническими средствами навигации и управления движением сухопутных, морских, воздушных объектов, КА. Она может быть полезна студентам старших курсов и аспирантам.

С 2402020000-071
046(01)-82 27-82

ББК 32.95

6Ф2.4

РЕЦЕНЗЕНТЫ: кандидаты техн. наук В. П. ЗАКОЛОДЯЖНЫЙ, В. И. КУЗНЕЦОВ, В. А. ПЫЛЕНКОВ, инж. Э. А. ЖИЖЕМСКИЙ, инж. А. А. ПЕШКИН

Редакция литературы по кибернетике и вычислительной технике

**СЕТЕВЫЕ СПУТНИКОВЫЕ
РАДИОНАВИГАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ**

**Валентин Семенович Шебшаевич, Павел Павлович Дмитриев,
Наталья Вячеславовна Иванцевич, Август Владимирович Калугин,
Эдуард Георгиевич Ковалевский, Виктор Юдович Кутиков,
Юрий Александрович Максютенко, Юрий Борисович Молчанов**

Редактор Ю. И. Суханов
Художник О. В. Камаев
Художественный редактор Г. Н. Кованов
Технический редактор Г. И. Колосова
Корректор Л. С. Глаголева

ИБ № 88

Сдано в набор 14.12.81 г. Подписано в печать 16.03.82 г.
Т-06423 Формат 60×90/16 Бумага тип. № 3 Гарнитура литературная
Печать высокая Усл. печ. л. 17,0 Усл. кр.-отт. 17,0 Уч.-изд. л. 19,43
Тираж 3500 экз. Изд. № 19628 Зак. № 171 Цена 1 р. 20 к.
Издательство «Радио и связь». 101000 Москва, Главпочтамт, а/я 693

Типография издательства «Радио и связь» Госкомиздата СССР
101000 Москва, ул. Кирова, д. 40

© Издательство «Радио и связь», 1982.

Оглавление

	Стр.
Предисловие	3
Введение	4
РАЗДЕЛ ПЕРВЫЙ	
СТРУКТУРА И ФУНКЦИОНИРОВАНИЕ СЕТЕВЫХ СРНС	
Глава 1. Принципы построения и особенности сетевых спутниковых РНС	9
1.1. Структурная схема СРНС	9
1.2. Особенности сетевых СРНС	10
1.3. Классификация СРНС	12
1.4. Согласование начал отсчета пространственных и временной координат ССРНС	16
1.5. Общая характеристика элементов ССРНС	19
Глава 2. Геометрические свойства методов измерений в ССРНС	24
2.1. Навигационные параметры	24
2.2. Навигационные функции	27
2.3. Градиенты полей навигационных параметров	29
2.4. Градиентная и фундаментальная матрицы	31
Глава 3. Основы решения навигационных задач в СРНС	32
3.1. Конечные и итерационные методы навигационных определений	32
3.2. Математические основы определений по полной выборке измерений	35
Глава 4. Сигналы в спутниковых РНС	44
4.1. Общие требования к сигналам СРНС	44
4.2. Статистическая модель радионавигационного канала СРНС	44
4.3. Анализ требований, предъявляемых к сигналам СРНС	46
4.4. Применение шумоподобных сигналов для измерения дальности и скорости	50
4.5. Типовые структуры совмещенных сигналов для различных вариантов пассивных СРНС	51
4.6. Особенности выбора структуры сигналов в активных вариантах СРНС	57
Глава 5. Энергетика навигационных радиолиний	58
5.1. Требования, предъявляемые к навигационным радиолиниям	58
5.2. Общая характеристика прямой и ретрансляционной радиолиний СРНС	59
5.3. Учет условий распространения радиоволн в СРНС	61
5.4. Способы уменьшения рефракционных погрешностей дальномерного и доплеровского измерений	64
5.5. Особенности энергетических расчетов радиолиний в зависимости от расположения обслуживаемого слоя	67
Глава 6. Способы разделения сигналов	70
6.1. Методы уплотнения и разделения сигналов в сетевых СРНС	70
6.2. Сигналы, используемые при кодовом разделении	75
6.3. Вероятностное разделение сигналов спутников при использовании ШПС в ССРНС	76
6.4. Особенности разделения сигналов в активных СРНС	77
Глава 7. Принципы построения измерительно-вычислительной аппаратуры потребителя	80
7.1. Обобщенная схема аппаратуры потребителя ССРНС	80
7.2. Динамические свойства измеряемых радионавигационных параметров	84
7.3. Структура мешающих параметров	86
Глава 8. Устройства измерения радионавигационных параметров	87
8.1. Методы синтеза измерителей	87
8.2. Синтез нелинейного многопараметрического измерителя	89
8.3. Синтез измерителя на основе оптимальной линейной фильтрации	92
8.4. Синтез фильтров Калмана	94
8.5. Схемы следящих измерителей аппаратуры потребителей ССРНС	95
Глава 9. Устройство поиска радионавигационных сигналов	100
9.1. Необходимость поиска радионавигационных сигналов	100
9.2. Обнаружение полностью известных сигналов	101
9.3. Обнаружение реальных сигналов	102
9.4. Время поиска сигнала	104
9.5. Типовая схема устройства поиска сигнала в ССРНС	105

	Стр.
Глава 10. Формирование эфемеридной информации	107
10.1. Модель орбиты средневысоких НИСЗ	107
10.2. Состав эфемеридной информации	108
10.3. Организация обработки измерений и формирование эфемеридной информации	109
Глава 11. Синхронизация временных шкал системы НИСЗ	111
11.1. Общая характеристика хранителей временных шкал	111
11.2. Методы сверки временных шкал	113
11.3. Коррекция временных шкал	115
11.4. Способы учета в навигационном сеансе смещений временных шкал НИСЗ	116
Глава 12. Кадр навигационного сигнала	118
12.1. Методология выбора элементов кадра сигнала	118
12.2. Условия реализации алгоритмов прогнозирования эфемерид НИСЗ	121
12.3. Алгоритмы прогнозирования движения НИСЗ	123
12.4. Состав, форма представления и объем информации, передаваемой в кадре навигационного сигнала	124
 РАЗДЕЛ ВТОРОЙ	
ОСНОВЫ НАВИГАЦИОННОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ССРНС	
Глава 13. Алгоритмизация решения навигационных задач	129
13.1. Задача синтеза алгоритма навигационных определений	129
13.2. Модель навигационных измерений	131
13.3. Модель динамики потребителя	132
13.4. Факторы, влияющие на выбор способа обработки информации в ССРНС	134
Глава 14. Алгоритмы решения навигационных задач по выборке одновременных измерений	136
14.1. Алгоритмы решения навигационной задачи по выборке минимального объема одновременных измерений	136
14.2. Алгоритмы решения навигационной задачи по избыточному объему одновременных измерений	141
14.3. Оценка сходимости алгоритмов решения навигационной задачи	148
Глава 15. Алгоритмы решения навигационных задач по выборке измерений нарастающего объема	150
15.1. Рекуррентный алгоритм решения задачи по методу Калмана и его модификации при различных составах измерений	150
15.2. Способы устранения расходимости фильтров Калмана	155
15.3. Рекуррентные соотношения Гауссова фильтра 2-го порядка	157
15.4. Сравнение рекуррентных алгоритмов по размерам области сходимости	160
Глава 16. Способы оценки точности определения параметров движения	163
16.1. Показатели точности навигационных определений	163
16.2. Корреляционная матрица ошибок определяемых параметров	164
16.3. Источники ошибок навигационных определений	165
16.4. Отображение точностных характеристик и интегральная оценка точности СРНС	167
Глава 17. Точность определения координат по одному НИСЗ	169
17.1. Модель точностных характеристик	169
17.2. Точность определений квазидальномерным способом	172
17.3. Точность определения квазидоплеровским способом	176
17.4. Сравнение точностных свойств дальномерного и доплеровского способов при различном составе мешающих параметров	178
Глава 18. Точность определения координат при одномоментных измерениях по элементарному созвездию НИСЗ	182
18.1. Элементарные созвездия	182
18.2. Геометрические факторы при определении поверхностных координат по элементарному созвездию из двух НИСЗ	183
18.3. Геометрические факторы при определении поверхностных координат по элементарному созвездию из трех НИСЗ	186
18.4. Геометрические факторы при определении пространственных координат по элементарному созвездию из четырех НИСЗ	188
18.5. Точностные свойства доплеровских методов в сетевых СРНС в сравнении с дальномерными	189
Глава 19. Точность определения пространственных координат и вектора скорости по сети НИСЗ	191
19.1. Общая характеристика поля точностей	191
19.2. Распределение вероятностей геометрических факторов	192

	Стр.
19.3. Точность оценки координат и времени	193
19.4. Точность оценки скорости движения	198
Глава 20. Определение параметров движения околоземных КА	199
20.1. Особенности навигационных определений на борту околоземных КА	199
20.2. Подход к задаче оптимального оценивания параметров орбитального движения	199
20.3. Оценка точности определения параметров движения	201
Глава 21. Точность определения параметров движения в активном и относительно- ном режимах	202
21.1. Точностные характеристики активных СРНС	202
21.2. Точностные свойства сетевых СРНС в относительном режиме	206
Глава 22. Математическое обеспечение бортовой аппаратуры потребителей	209
22.1. Автоматизация навигационных определений и штурманских расчетов	209
22.2. Структура математического обеспечения	210
22.3. Временная диаграмма алгоритма	213
РАЗДЕЛ ТРЕТИЙ	
КОМПЛЕКСНОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ ССРНС	
Глава 23. Задачи и особенности комплексного проектирования ССРНС	215
23.1. Основные задачи, решаемые при комплексном проектировании	215
23.2. Этапы создания ССРНС	218
23.3. Особенности проектов СРНС различного назначения	220
Глава 24. Синтез структуры сети НИСЗ из условий обеспечения заданной крат- ности покрытия	222
24.1. Этапы выбора структуры сети НИСЗ	222
24.2. Зона радиовидимости, полоса покрытия и область перекрытия	223
24.3. Достаточные условия оптимальности сети НИСЗ, обеспечивающей заданную ми- нимальную кратность покрытия	224
24.4. Необходимые условия оптимальности сети НИСЗ	227
24.5. Свойства экстремальной сети НИСЗ, обеспечивающей заданную минимальную кратность покрытия	231
24.6. Условие стабильности пространственной конфигурации сети НИСЗ	232
Глава 25. Синтез структуры сети НИСЗ по критерию точности навигационных определений	234
25.1. Геометрический смысл оптимизации по критерию точности	234
25.2. Выбор оптимального по критерию точности созвездия НИСЗ	236
25.3. Приближенный учет параллакса минимального созвездия	239
25.4. Качественный анализ зон пониженной точности	241
25.5. Уточнение структуры сети НИСЗ по минимаксному критерию точности	243
Глава 26. Принципы комплексного использования спутниковых и наземных си- стем дальней радионавигации	245
26.1. Общие предпосылки и возможности совместного использования спутниковых и наземных РНС	245
26.2. Комбинированная разностно-дальномерная РНС, состоящая из наземных стан- ций и стационарного НИСЗ	247
26.3. Комплексное использование низкоорбитальной СРНС и фазовой СДВ РНС	250
Глава 27. Критерии оценки эффективности навигационного использования СРНС	253
27.1. Эффективность сложных систем	253
27.2. Особенности исследования эффективности спутниковых РНС	256
27.3. Общие и частные критерии эффективности спутниковых РНС	258
Список литературы	263