Поиск сигналов ГНСС при холодном старте

Для уменьшения времени поиска сигналов необходимо осуществлять поиск максимально быстро с учетом как имеющихся аппаратных средств, так и свойств сигналов ГНСС.

Свойства ГНСС и используемых сигналов с точки зрения поиска

Основные свойства сигналов ГНСС, влияющие на длительность поиска при холодном старте, приведены в табл…

Табл. Основные свойства сигналов ГНСС с точки зрения поиска

| **ГНСС** | **Диапазон** | **Тип используемого сигнала** | **Несущая частота, МГц** | **Тип модуляции** | **Длина ДК (рабочая), символов** | **Период ДК, мс** | **Длительность символа ДК, мкс** |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| ГЛОНАСС | L1 | L1OF СТ | 1602 + k\*0,5625 | BPSK  квадратура | 511 | 1 | ~ 2 |
|  |  | L1OCd СТ | 1600,995 | BPSK(1)  временное уплотнение | 1023 | 2 | ~ 2 |
|  |  | L1OCp СТ | 1600,995 | BOC(1,1)  временное уплотнение | 4092 | 8 | ~ 2 |
|  | L2 | L2OF СТ | 1246 + k\*0,4375 | BPSK  квадратура | 511 | 1 | ~ 2 |
|  |  | L2OCd СТ | 1248,06 | BPSK(1)  временное уплотнение | 1023 | 2 | 2 |
|  |  | L2OCp СТ | 1248,06 | BOC(1;1)  временное уплотнение | 10230 | 20 | ~ 2 |
| GPS | L1 | C/A | 1575,42 | BPSK(1) | 1023 | 1 | ~ 1 |
|  | L2 | L2CMd | 1227,6 | BPSK (1)  временное уплотнение | 10230 | 20 | ~ 2 |
|  |  | L2CLp | 1227,6 | BPSK (1)  временное уплотнение | 767250 | 1500 | ~ 2 |
| Galileo | L1 | E1bd | 1575,42 | BOC (1;1)  квадратура | 4092 | 4 | ~ 1 |
|  |  | E1cp | 1575,42 | BOC (1;1)  квадратура | 4092 | 4 | ~ 1 |
|  | L3 | E5b Id | 1207,14 | BPSK(10)  квадратура | 10230 | 1 | ~ 0,1 |
|  |  | E5b Qp | 1207,14 | BPSK(10)  квадратура | 10230 | 1 | ~ 0,1 |
| BeiDou | L1 | B1I | 1561,098 | BPSK(2)  квадратура | 2046 | 1 | ~ 0,5 |
|  | L3 | B2I | 1207,140 | BPSK(2)  квадратура | 2046 | 1 | ~ 0,5 |

При холодном старте неизвестны видимые НКА, поэтому в худшем случае нужно искать сигналы всех НКА ГНСС. Сведения о составе орбитальных группировок разных ГНСС приведены в табл…

Табл. Параметры орбитальных группировок ГНСС

| ГНСС | Количество плоскостей | Количество НКА в каждой плоскости | | Высота орбиты, км | Угол наклонения, град |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  |  | Основные | Резервные |  |  |
| ГЛОНАСС | 3 | 8 | 1 | 19,1 | 64,8 |
| GPS | 6 | 4-6 | 1 | 20,2 | 55 |
| GALILEO | 3 | 9 | 1 | 23,2 | 56 |
| BEIDOU | 3 | 9 | 1 | 21,5 | 55 |

Количество точек анализа при холодном старте

Поиск осуществляется корреляцией принимаемого сигнала с местным эталоном в каждой точке заданной частотно-временной области анализа. Количество проверяемых точек определяется как величиной областью анализа поиска по времени и частоте, так и шагом анализа по времени и частоте.

*Уточнение терминов:*

*- область анализа: вся частотно-временная область поиска сигналов*

*- зона анализа: зона одновременного анализа*

*-шаг анализа повремени (задержке):*

*- при рассмотрении общих вопросов – 0,5 символа ДК*

*- при рассмотрении с учетом средств – равен зоне одновременного анализа по задержке*

*Предлагаю отредактировать* ***ВСЕ*** *материалы на однотипную терминологию.*

Шаг по времени определяется длительностью элемента ДК в принимаемом радиосигнале сигнале ― с учетом вида используемой модуляции. Шаг по времени составляет 0,5 элемента ДК. Используемая для формирования полного сигнала модуляция изменяет длину элементов дальномерного кода по сравнению с длиной символа в генераторе ДК. Коэффициент изменения Км составляет:

- для модуляции BPSK Км\_bpsk=1;

- для модуляции BOC (1,1) Км\_boc=2;

- для временного мультиплексирования двух компонент Км\_time=2.

Для поиска по частоте максимальный диапазон поиска определяется:

- параметрами движения КА относительно НКА ГНСС (скорость изменения расстояния между КА и НКА) (зависит от высоты и наклонения орбиты КА; от величины ускорения КА при маневрах) (см табл…);

- частотой несущих используемых сигналов ГНСС (см табл…);

- отклонением частоты опорного генератора от номинального значения (качество генератора; условия эксплуатации).

Табл… Максимальные параметры динамики по сигналу

| **Параметр** | **Значение** | **Тип орбиты** | | |
| --- | --- | --- | --- | --- |
|  |  | **НКО 1** | **НКО 2** | **НКО 3** |
| ГНСС | ГЛОНАСС |  |  |  |
| Скорость, м/с |  | 8750 | 8409 | 8106 |
| Ускорение, м/с2 |  | 15,7 | 14,6 | 12,9 |
| Рывок, м/с3 |  | 0,0209 | 0,0189 | 0,0155 |
|  |  |  |  |  |
| ГНСС | GPS |  |  |  |
| Скорость, м/с |  | 8673 | 8281 | 8132 |
| Ускорение, м/с2 |  | 15,2 | 14,0 | 12,9 |
| Рывок, м/с3 |  | 0,0200 | 0,0177 | 0,0153 |
|  |  |  |  |  |
| ГНСС | GALILEO |  |  |  |
| Скорость, м/с |  | 8282 | 7958 | 7741 |
| Ускорение, м/с2 |  | 13,4 | 12,5 | 11,4 |
| Рывок, м/с3 |  | 0,0166 | 0,0150 | 0,0127 |
|  |  |  |  |  |
| ГНСС | BEIDOU | 8514 | 8129 | 7982 |
| Скорость, м/с |  | 14,5 | 13,4 | 12,3 |
| Ускорение, м/с2 |  | 0,0184 | 0,0162 | 0,0140 |
| Рывок, м/с3 |  |  |  |  |

Примечания:

1. НКО1 – МНП расположен на КА с низкой круговой орбитой с высотой 200 км, углом наклонения 98 град;
2. НКО2 – МНП расположен на КА с низкой круговой орбитой с высотой 200 км, углом наклонения 64 град;
3. НКО3 – МНП расположен на КА с низкой круговой орбитой с высотой 600 км, углом наклонения 64 град.

Из приведенной таблицы следует, что максимальное значение параметров динамики по сигналу имеет место на НКО1.

Табл … Максимальный доплеровский сдвиг за счет динамики по сигналу

|  |  | **Максимальный доплеровский сдвиг, кГц** | | |
| --- | --- | --- | --- | --- |
|  |  | **Тип орбиты** | | |
| **Сигнал** | **Несущая частота, МГц** | **НКО 1** | **НКО 2** | **НКО 3** |
| **ГЛОНАСС** |  |  |  |  |
| L1OF | 1602 + 6 \* 0,5625 | 46,82 | 44,99 | 43,37 |
| L2OF | 1246+ 6\*0,4375 | 36,41 | 34,99 | 33,73 |
| L1OC | 1600,995 | 46,69 | 44,87 | 43,25 |
| L2OC | 1248,06 | 36,40 | 34,98 | 33,72 |
|  |  |  |  |  |
| **GPS** |  |  |  |  |
| L1\_CA | 1575,42 | 45,54 | 43,48 | 42,70 |
| L2C | 1227,6 | 35,48 | 33,88 | 33,27 |
|  |  |  |  |  |
| **GALILEO** |  |  |  |  |
| L1\_E1BC | 1575,42 | 43,49 | 41,79 | 40,65 |
| L3\_E5B | 1207,14 | 33,32 | 32,02 | 31,14 |
|  |  |  |  |  |
| **BEIDOU** |  |  |  |  |
| L1\_B1I | 1561,098 | 44,30 | 42,30 | 41,53 |
| L3\_B2I | 1207,14 | 34,26 | 32,71 | 32,12 |

В качестве опорного генератора используются высокостабильные генераторы с относительным отклонением частоты в процессе длительной эксплуатации на КА не более (2…5)\*10-6. В худшем случае, для максимальной несущей сигналов L1xF, это приводит к дополнительному расширению диапазона поиска по частоте на 8,03 кГц.

Табл … Относительное смещение ОГ по сигналам

| **Сигнал** | **Несущая частота, МГц** | **Относительное смещение ОГ, кГц** |
| --- | --- | --- |
| **ГЛОНАСС** |  |  |
| L1OF | 1602 + 6 \* 0,5625 | 8,03 |
| L2OF | 1246+ 6\*0,4375 | 6,24 |
| L1OC | 1600,995 | 8,00 |
| L2OC | 1248,06 | 6,24 |
|  |  |  |
| **GPS** |  |  |
| L1\_CA | 1575,42 | 7,88 |
| L2C | 1227,6 | 6,14 |
|  |  |  |
| **GALILEO** |  |  |
| L1\_E1BC | 1575,42 | 7,88 |
| L3\_E5B | 1207,14 | 6,04 |
|  |  |  |
| **BEIDOU** |  |  |
| L1\_B1I | 1561,098 | 7,81 |
| L3\_B2I | 1207,14 | 6,04 |

При фиксированном шаге анализа по частоте количество шагов в зоне анализа примерно одинаково для всех сигналов одного частотного диапазона (L1, L2 или L3) ГНСС (см табл…). Для шага анализа по частоте 500 Гц количество шагов анализа по частоте с учетом всех факторов (динамика по сигналу и смещение частоты опорного генератора) приведено в табл…

Табл … Количество шагов анализа по частоте

|  | **Количество шагов анализа по частоте** | | |
| --- | --- | --- | --- |
|  | **Тип орбиты** | | |
| **Сигнал** | **НКО 1** | **НКО 2** | **НКО 3** |
| **ГЛОНАСС** |  |  |  |
| L1OF | 220 | 213 | 206 |
| L2OF | 171 | 165 | 160 |
| L1OC | 219 | 212 | 205 |
| L2OC | 171 | 165 | 160 |
|  |  |  |  |
| **GPS** |  |  |  |
| L1\_CA | 214 | 206 | 203 |
| L2C | 167 | 161 | 158 |
|  |  |  |  |
| **GALILEO** |  |  |  |
| L1\_E1BC | 206 | 199 | 195 |
| L3\_E5B | 158 | 153 | 149 |
|  |  |  |  |
| **BEIDOU** |  |  |  |
| L1\_B1I | 209 | 201 | 198 |
| L3\_B2I | 162 | 155 | 153 |

Для поиска по задержке максимальный диапазон поиска определяется в общем случае неопределенностью по времени и по задержке сигнала. Максимальная неопределенность по времени для периодического ДК определяется периодом его повторения. Длина ДК для используемых периодических сигналов приведена в табл…. Шаг анализа по задержке принят равным 0,5 элемента принимаемого ДК.

Табл Количество шагов анализа по задержке на одной частотной позиции

| **ГНСС** | **Сигнал** | **Длина кода, символы** | **Км** | **Км общ** | **Длина кода, элементы** | **Общее количество шагов анализа** |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| ГЛОНАСС | L1OF | 511 | Км\_bpsk | 1 | 511 | 1022 |
|  | L1OCd | 1023 | Км\_bpsk\* Км\_time | 2 | 2046 | 4092 |
|  | L1OCp | 4092 | Км\_boc\* Км\_time | 4 | 16368 | 32736 |
|  | L2OF | 511 | Км\_bpsk | 1 | 511 | 1022 |
|  | L2OCd | 1023 | Км\_bpsk\* Км\_time | 2 | 2046 | 4092 |
|  | L2OCp | 4092 | Км\_boc\* Км\_time | 4 | 16368 | 32736 |
| GPS | L1\_CA | 1023 | Км\_bpsk | 1 | 1023 | 2046 |
|  | L2CMd | 10230 | Км\_bpsk\* Км\_time | 2 | 20460 | 40920 |
|  | L2CLp | 767250 | Км\_bpsk\* Км\_time | 2 | 1534500 | 3069000 |
| GALILEO | L1\_E1Bd | 4092 | Км\_boc | 2 | 8184 | 16368 |
|  | L1\_E1Cp | 4092 | Км\_boc | 2 | 8184 | 16368 |
|  | L3\_E5Bd | 10230 | Км\_bpsk | 1 | 10230 | 20460 |
|  | L3\_E5Bp | 10230 | Км\_bpsk | 1 | 10230 | 20460 |
| BEIDOU | L1\_B1I | 2046 | Км\_bpsk | 1 | 2046 | 4092 |
|  | L3\_B2I | 2046 | Км\_bpsk | 1 | 2046 | 4092 |

Приоритеты поиска сигналов при холодном старте

Выстраивание приоритета поиска сигналов из минимизации времени поиска приведено в табл…. В ней учтено, что для обнаружения всех радиовидимых сигналов ГНСС при холодном старте в худшем случае придется осуществить поиск сигналов по всем НКА ГНСС. При этом необходимо учитывать особенность ГНСС ГЛОНАСС с частотным разделением: для нее используются антиподные литеры. Поиск при этом осуществляется по всем литерам, что приводит к меньшему их количеству (14) при том же количестве НКА в штатной орбитальной группировке. Поиск сигналов в этом случае обычно осуществляется перебором литерных частот.

Табл… Приоритеты поиска сигналов при холодном старте

| **ГНСС** | **Сигнал** | **Количество точек анализа** | | | | **Очередь** | |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **По частоте** | **По задержке** | **По НКА** | **Общее** | |  |
| ГЛОНАСС | L1OF | 220 | 1022 | 14 | 3147760 | | 2 |
|  | L1OCd | 219 | 4092 | 24 | 21507552 | | 6 |
|  | L1OCp | 219 | 32736 | 24 | 172060416 | | 14 |
|  | L2OF | 171 | 1022 | 14 | 2446668 | | 1 |
|  | L2OCd | 171 | 4092 | 24 | 16793568 | | 4 |
|  | L2OCp | 171 | 32736 | 24 | 134348544 | | 12 |
| GPS | L1\_CA | 214 | 2046 | 24 | 10508256 | | 3 |
|  | L2CMd | 167 | 40920 | 24 | 164007360 | | 13 |
|  | L2CLp | 167 | 3069000 | 24 | 12300552000 | | 15 |
| GALILEO | L1\_E1Bd | 206 | 16368 | 27 | 91038816 | | 10 |
|  | L1\_E1Cp | 206 | 16368 | 27 | 91038816 | | 11 |
|  | L3\_E5Bd | 158 | 20460 | 27 | 87282360 | | 8 |
|  | L3\_E5Bp | 158 | 20460 | 27 | 87282360 | | 9 |
| BEIDOU | L1\_B1I | 209 | 4092 | 27 | 23091156 | | 7 |
|  | L3\_B2I | 162 | 4092 | 27 | 17898408 | | 5 |