

Таким образом фиксированный характер параметров солнечной активности подтверждают использование в TRAKSTAR статической модели атмосферы (разница только в ее параметрах).

Эти же обстоятельства и повышенный, по сравнению с TRAKSTAR, уровень ошибок прогноза $P_{4x0}(F_{10.7}^c, A_p^c)$ позволяют с высокой долей уверенности говорить о том, что данные TLE-файлов не являются первичными, а получены в результате их адаптации к модели движения этой программы. Чтобы достоверно подтвердить этот вывод, можно предложить следующее методическое решение: перекодировать в форматы TLE-файлов известные параметры орбит КА, полученные по первичным измерениям, и провести по ним оценку качества прогноза TRAKSTAR. Использование четырех зональных гармоник также не противоречит модели движения TRAKSTAR.

Таким образом, разработанная методика оценки качества (точности) каталогов НУД на примере данных Internet показала свою работоспособность, позволила определить модель движения, согласованную с известными параметрами движения, и получить оценки точности данных каталогов на основе TLE-файлов и сделать выводы о их характере.

Дальнейшие исследования должны быть направлены на оценку точности данных для интервалов прогноза большей длительности и других типов орбит.

1. Андреев О. В., Вениаминов С. С., Дикий В. И., Завалин В. Н. Каталог космических объектов российской системы контроля космического пространства // Космонавтика и ракетостроение.—2000.—18.—С. 40—49.
2. Бажинов И. К., Ястребов В.В. Навигация в совместном полете космических кораблей «Союз» и «Аполлон». — М.: Наука, 1978.—224 с.
3. Жданюк Б. Ф. Основы статистической обработки траекторных измерений. — М.: Сов. радио, 1978.—348 с.
4. Хуторовский З. Н. Ведение каталога космических объектов // Космич. исследования.—1993.—4.—С. 101—114.

INVESTIGATION AND METHOD DEVELOPMENT OF QUALITY ESTIMATE OF CATALOGUES OF SPACE OBJECT MOTION PARAMETERS

M. V. Brovko, A. V. Golubek, I. A. Emelianova,
P. G. Khorols'kyi

The article is devoted to statement of a task and quality estimate methods of development any catalogue of the space object motion parameters on example of the NASA research data distributed across the Internet without restriction.

УДК 621.396.946

ПОВЫШЕНИЕ ДОСТОВЕРНОСТИ ПРИЕМА ИНФОРМАЦИИ ПРИ ЗАДАННОЙ СКОРОСТИ ЕЕ ПЕРЕДАЧИ В СПУТНИКОВЫХ СИСТЕМАХ СВЯЗИ

© А. И. Бобров, С. И. Бобров

Державне підприємство «Укркосмос»

Розглянуто спосіб збільшення достовірності приймання інформації на основі використання складних сигналів при обмеженнях на потужність в еталонній смузі частот.

Достоверность (верность) [3] приема дискретной информации, то есть вероятность правильного приема переданного символа, тем больше, чем меньше вероятность ошибочного его отождествления с любым другим символом из другого ансамбля. Поскольку вероятность ошибки $p_{\text{ош}}$ и вероятность правильного приема $p_{\text{пр}}$ символа образуют полную группу событий, то

$$p_{\text{ош}} + p_{\text{пр}} = 1.$$

Отсюда следует, что достоверность D приема дискретной информации равна

$$D = p_{\text{пр}} = 1 - p_{\text{ош}}.$$

Для подавляющего числа методов модуляции и типов применяемых сигналов [1, 8]

$$p_{\text{ош}} = A[1 - \Phi(x)],$$

где A — коэффициент, определяемый методом модуляции ($A < 1$):

$$\Phi(x) = \sqrt{\frac{2}{\pi}} \int_0^x e^{-0.5y^2} dy$$

— функция Крампа (интеграл вероятностей); $x =$

$= x(q^2)$ — функция, монотонно возрастающая с ростом q^2 , вид которой определяется типом применяемых сигналов;

$$q^2 = \frac{E}{2N}, \quad (3)$$

E — энергия элементарного сигнала, транспортирующего информационный символ; N_0 — усредненная спектральная плотность мощности аддитивной гауссовской помехи в полосе частот, занимаемой спектром сигнала.

Согласно (1) и (2)

$$D = 1 - A[1 - \Phi(x)] \leq 1.$$

Из (3) и (4) следует, что независимо от типов применяемых сигналов и методов модуляции достоверность приема дискретной информации растет, приближаясь к единице, с увеличением энергии сигнала.

Поскольку энергия дискретного финитного сигнала определяется выражением

$$E = \int_0^{T_C} P(t) dt = P_{CP} T_C,$$

где $P(t)$ — мгновенная мощность сигнала, T_C — длительность сигнала, $P_{CP} = E/T_C$ — средняя мощность сигнала, то увеличить ее можно: а) увеличением P_{CP} при фиксированном значении T_C ; б) увеличением T_C при фиксированном значении P_{CP} ; в) одновременным увеличением P_{CP} и T_C .

Из (5) следует, что при ограниченной пиковой мощности $P_{\text{пик}}$ сигнала и заданной его длительности T_C энергия E достигает максимума в том случае, когда форма огибающей сигнала прямоугольная с длительностью T_C и $P(t) = P_{\text{пик}} = \text{const}$.

Поскольку возможность увеличения пиковой мощности ограничена Регламентом радиосвязи [6], установившим верхний предел на эквивалентную изотропно-излучаемую мощность наземных и земных станций, а также предел на плотность мощности в эталонной полосе частот у поверхности Земли, создаваемой космическими станциями, то энергию сигнала в настоящее время можно практически увеличивать только за счет увеличения длительности T_C .

Однако с увеличением T_C уменьшается техническая скорость передачи сигналов $R_T = T_C^{-1}$, а пропорционально ей и скорость передачи информации $R_{\text{и}}$. Так при передаче m -позиционных сигналов по симметричным каналам [4, 5]

$$R_{\text{и}} = R_T R_K \left[\lg m + (1 - p_{\text{np}}) \lg \frac{1 - p_{\text{np}}}{m - 1} + p_{\text{np}} \lg p_{\text{np}} \right],$$

где R_K — скорость кода ($R_K \leq 1$) [7].

Если элементарные m -позиционные сигналы простые, т. е. произведение длительности T_C на ширину полосы частот Π_C , занимаемой их спектром, порядка единицы, то увеличение T_C влечет за собой соответствующее уменьшение Π_C . В этом случае попытка сохранить прежние значения $R_{\text{и}}$ при увеличении T_C путем сохранения прежней частоты следования элементарных сигналов ведет к появлению (нарастанию) межсимвольных искажений. Это приводит к уменьшению достоверности передачи информации и увеличение результирующей пиковой мощности интерферирующих n соседних элементарных сигналов, что повлечет за собой необходимое согласно Регламенту радиосвязи [6] уменьшение пиковой мощности каждого элементарного сигнала примерно в \sqrt{n} раз [10]. Таким образом, при неизменных типах модуляции и кодирования невозможно путем увеличения длительности простых сигналов сохранить скорость передачи дискретной информации и увеличить ее достоверность.

Однако проблема просто решается на основе сложных элементарных сигналов с большой базой, у которых

$$T_C \cdot \Pi_C = B_C \gg 1,$$

и ширина полосы частот их спектра Π_C такая же, как у первоначального простого сигнала Π_0 , т. е. база сигнала увеличена не за счет ширины, а за счет длительности спектра. Кроме этого, эти сложные сигналы при наложении во времени друг на друга должны не интерферировать друг с другом с тем, чтобы каждый мог иметь максимально возможную пиковую мощность, ограниченную лишь требованиями Регламента радиосвязи [6].

Таковыми сложными сигналами, в частности, являются широкоизвестные радиоимпульсы с прямоугольной огибающей амплитуд и линейно частотно-модулированным (ЛЧМ) заполнением. Большие значения базы ЛЧМ-импульсов достаточно точно описываются выражением [3]

$$B_C = 2F_d T_C,$$

где $2F_d$ — полная девиация частоты.

Кроме этого, при $B_C \gg 1$ огибающая амплитудного спектра ЛЧМ-импульсов с прямоугольной огибающей амплитуд также близка к прямоугольной [3], т. е., если ЛЧМ-импульс во времени описывается выражением

$$a_{\text{вх}}(t) = \begin{cases} A_0 \cos \left[2\pi \left(f_0 + \frac{B_C t}{T_C} \right) t \right] & \text{при } |t| \leq \frac{T_C}{2}, \\ 0 & \text{при } |t| > \frac{T_C}{2}, \end{cases} \quad (6)$$

то его спектральная плотность равна

$$S(|f - f_0|) \approx \begin{cases} \frac{A_0 T_C}{2\sqrt{B_C}} & \text{при } |f - f_0| \leq F_D = \frac{B_C}{2T_C}, B_C \gg 1, \\ 0 & \text{при } |f - f_0| > F_D. \end{cases} \quad (7)$$

В (6) и (7) f_0 — средняя частота ЛЧМ-заполнения импульса, t — текущее время.

Корреляционная функция сигнала (6) имеет вид

$$K_A(\tau) = \begin{cases} E \frac{\sin \left[b \left(1 - \frac{\tau}{T_C} \right) \right]}{b} \cos(2\pi f_0 \tau) & \text{при } |\tau| \leq T_C, \\ 0 & \text{при } |\tau| > T_C, \end{cases}$$

где $E = A_0^2 T_C / 2$ — энергия сигнала (6);

$$b = \frac{\pi B_C}{T_C} \tau = 2\pi F_D \tau.$$

Поскольку сигнал на выходе согласованного фильтра с точностью до постоянного коэффициента r совпадает с автокорреляционной функцией его входного сигнала [3], то сигнал (6) после оптимальной фильтрации имеет вид

$$A_{\text{ВЫХ}}(z) = V_{\text{ВЫХ}}(z) \cdot \cos 2\pi f_0 z, \quad (8)$$

где $V_{\text{ВЫХ}}(z) = r(A_0^2 T_C / 2) \cdot \sin(2\pi F_D z) / (2\pi F_D z)$ — огибающая радиосигнала; $z = t - T_C$ — время, отсчитываемое от T_C .

Длительность главного лепестка выходного сигнала (8) по ближайшим к максимуму нулям равна

$$T_{\text{ВЫХ}} = 1/F_D.$$

Так как нули огибающей сигнала (8) отстоят от главного лепестка на интервалы, кратные $0.5T_{\text{ВЫХ}}$, то для исключения взаимных помех все сигналы должны следовать с периодом $T_{\Pi} = 0.5T_{\text{ВЫХ}}$.

Поскольку принято, что $2F_D = \Pi_0$, то $T_{\text{ВЫХ}} = 2/\Pi_0 = 2T_0$ и $T_{\Pi} = 1/\Pi_0$, где T_0 — длительность исходного простого элементарного сигнала, и база сложного ЛЧМ-сигнала $B_C = \Pi_0 T_C = \Pi_0 T_0 k_T = k_T$, где $k_T = T_C/T_0 = B_C$ — коэффициент увеличения длительности простого сигнала при переходе к сложному.

В этом случае энергия сложного сигнала E_C равна

$$E_C = \frac{A_0^2 T_C}{2} = \frac{A_0^2 T_0}{2} B_C = E_0 B_C,$$

где $E_0 = A_0^2 T_0 / 2$ — энергия простого исходного сигнала.

В качестве примера рассмотрим случай относительной фазовой манипуляции, при которой в (2): $A = 1$, $x = \sqrt{2q^2} = \sqrt{E/N_0}$.

Пусть при использовании простого элементарного сигнала обеспечивается достоверность приема информации 0.999, которая соответствует (согласно таблице значений интеграла вероятностей [2]) $x = 3.295$. Если увеличить базу сигнала всего лишь в 4 раза, то достоверность приема информации возрастет до 0.9999999999, то есть вероятность ошибки при приеме дискретного элемента сигнала уменьшится на 7 порядков!

Этот пример иллюстрирует значительную эффективность рассмотренного способа увеличения достоверности приема информации, который в определенных условиях позволяет получить еще и большую скорость передачи информации за счет отказа от ставшего ненужным помехоустойчивого кодирования.

1. Абдулаев Д. А., Арипов М. Н. Передача дискретных сообщений в задачах и упражнениях. — М.: Радио и связь, 1985. — 128 с.
2. Большаков В. Д. Теория ошибок наблюдений с основами теории вероятностей. — М.: Недра, 1965. — 184 с.
3. Гоноровский И. С. Радиотехнические цепи и сигналы. — М.: Радио и связь, 1986. — 512 с.
4. Зюко А. Г. Помехоустойчивость и эффективность систем связи. — М.: Связь, 1972. — 360 с.
5. Петрович Н. Т., Камнев Е. Ф., Каблукова М. В. Космическая связь. — М.: Сов. радио, 1979. — 280 с.
6. Регламент радиосвязи. — Женева, 1998. — Т. 1.
7. Теория электрической связи. Под ред. Д. Д. Кловского. — М.: Радио и связь, 1998. — 432 с.
8. Устройства преобразования сигналов передачи данных / Б. С. Данилов, С. В. Стукалов, Ю. А. Тамм, М. Г. Штейнбок. — М.: Связь, 1979. — 128 с.
9. Харкевич А. А. Борьба с помехами. — М.: ГИФМЛ, 1963. — 276 с.
10. Цымбал В. П. Теория информации и кодирования. — К.: Вища школа, 1992. — 263 с.

INCREASE OF RELIABILITY OF INFORMATION RECEIVING IN SATELLITE COMMUNICATION SYSTEMS AT SPECIFIED SPEED OF ITS TRANSMISSION

A. I. Bobrov, S. I. Bobrov

The way of increase of reliability of the information receiving on the basis of the use of complex signals at the limitations on power in reference frequencies band is considered.