



ДИНАМИЧЕСКАЯ ВИЗУАЛИЗАЦИЯ ИНФОРМАЦИОННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ ОБСТАНОВКИ В 4-СПУТНИКОВОЙ СИСТЕМЕ СВЯЗИ

КУРМАНОВ А.С., МАЗМАНИШВИЛИ А.С.,
СЛИПЧЕНКО Н.И.

Строится программное средство расчета и визуализации региональных карт вероятности ошибок передачи бинарных символов. Приводятся примеры расчета упрощенной системы связи из 4 спутников для двух регионов на широте 0° и 30° .

1. Современное состояние сетей связи ориентировано на информационное обеспечение потребителей в регионе и базируется на использовании спутников-ретрансляторов [1-3]. Возрастание нагрузок на прием и передачу приводит к увеличению и усложнению спутниковых систем связи, что, в свою очередь, вызывает трудности при синтезе оптимальной конфигурации системы. В настоящей работе рассмотрен эффективный метод оценки вероятности ошибки в заданном регионе для выбранной конфигурации системы спутниковой связи (ССС). С помощью разработанного числового метода возможно сопоставлять различные варианты ретрансляции и приема в регионе. Рассмотрение ограничено цифровыми системами связи на геостационарной орбите (ГО), образованными из четырех спутников-ретрансляторов. В результате расчета вероятности ошибки P_{eM} формируется набор региональных вероятностных карт, анализ которых позволяет делать выводы об электромагнитной обстановке в системе связи.

2. Основная формула расчета вероятности ошибки при передаче одного бинарного символа в точке региона с координатами (x, y) в условиях множественных помех имеет вид:

$$P_{eM}(x, y) = E[\operatorname{erfc}(\rho(x, y) \sin(\pi/M) + \rho(x, y)Z(x, y))], \quad (1)$$

где $E[.]$ — символ безусловного математического ожидания; $\operatorname{erfc}(x)$ — дополнительная функция ошибок; $\rho(x, y) = P_s / P_n$ — величина отношения сигнал/шум по мощности в точке приема; P_s — мощность сигнала на входе приемника; P_n — полная мощность

шума на входе приемника; M — число положений фаз при фазовой манипуляции; Z — случайная величина, описывающая влияние помехи. Для помехи, связанной с соседними спутниками, эта случайная величина Z следующая (далее указания на координаты (x, y) опущены):

$$Z = \sum_{j \in C}^K R_j \cos(\varphi_j). \quad (2)$$

При этом каждая из величин φ_j случайна и равномерно распределена на интервале $(0, 2\pi)$, K — число мешающих космических станций (КС), а набор амплитуд $\{R_j\}$ вычисляется по следующему выражению:

$$R_j = \sqrt{\frac{[G_{es}(\theta_j)G_{ss}(\beta_j)P_j]}{[G_{es, \max}(\theta_j)G_{ss, \max}(\beta_j)P_0]}}. \quad (3)$$

Здесь $G_{es, \max} = \eta(\pi D / \lambda)^2$ — коэффициент усиления мощности антенны земной станции (ЗС); η — коэффициент использования поверхности антенны ЗС; D / λ — отношение апертуры к длине волны ЗС; θ_j — топоцентрический угол разноса между “полезным” и j -м “мешающим” спутником на ГО; $G_{es}(\theta_j)$ — соответствующий коэффициент усиления мощности антенны ЗС в направлении на j -й источник мешающего сигнала при угловом смещении θ_j ; $G_{ss, \max} = 44,44 - 20 \lg \gamma$ — максимальное усиление антенны КС в основном лепестке, dB; γ — угловой размер сечения луча антенны КС; $G_{ss}(\beta_j)$ — соответствующий коэффициент усиления мощности j -й “мешающей” КС в направлении на ЗС под углом β_j от направления максимального излучения (точки прицеливания); P_0 — мощность бортового передатчика “полезной” КС; P_j — мощность бортового передатчика j -й “мешающей” КС.

Соотношения (2) и (3) дают возможность полностью математически поставить задачу нахождения вероятности ошибки P_{eM} (1).

3. Искомая величина P_{eM} (1) является безусловным математическим ожиданием относительно всех возможных реализаций случайной величины Z (2). В работе был использован метод статистических испытаний, который часто применяется при моделировании случайных явлений (см., например, [4, 5]).

При расчете вероятности ошибки величина $P_{eM}(x, y)$ находилась путем вычисления оценки P_{eM} относительно реализаций случайной величины P_{eM} заданного выборочного объема N . Объем

выборки для любых координат (x, y) и любого значения ρ подбирался таким образом, чтобы относительная погрешность оценки P_{eM} не превосходила заданной величины α , которая в этой работе составляет 5%.

Здесь рассмотрено случайное событие, заключающееся в том, что относительная погрешность оценки P_{eM} величины P_{eM} не превышает α , и получена следующая зависимость объема выборки N от физических параметров задачи:

$$N \approx 2\rho^2 \Omega_c (\sin(\pi / M) + \Omega_c)(\gamma / \alpha)^2. \quad (4)$$

В этом выражении $\Omega_c = \sum_{j \in C} R_j$; q - вероятность указанного события; $\gamma = \Phi^{-1}(q)$; $\Phi(q)$ - функция Лапласа.

На базе статистического алгоритма расчета вероятности ошибки $P_{eM}(x, y)$ и распространения его на набор пространственных узлов $\{(x, y)\}$ были разработаны числовой алгоритм и программное обеспечение для расчета и визуализации информационных карт вероятности ошибок при выбранной конфигурации системы связи в заданном регионе (Украина, Россия, Западная Европа и др.).

4. Перейдем к численным результатам. На рис. 1, 2 приведены две группы (из трёх информационных вероятностных карт для $P_{eM}(x, y)$ каждая), отвечающие географическим регионам, которые имеют размеры в градусах $(-5.0^\circ; 5.0^\circ)$ по долготе и $(-5.0^\circ; 5.0^\circ)$ по широте. На рис. 1 четыре спутника расположены на ГО $(3,0^\circ \text{ з.д.}, 1,0^\circ \text{ з.д.}, 3,0^\circ \text{ в.д. и } 1,0^\circ \text{ в.д. соответственно})$. Первые три из них нацелены в точки $(2,5^\circ \text{ ю.ш.}, 3,0^\circ \text{ з.д.})$, $(2,5^\circ \text{ с.ш.}, 0,0^\circ \text{ в.д.})$ и $(2,5^\circ \text{ ю.ш.}, 3,0^\circ \text{ в.д.})$. Угол раскрыва индикатрис антенн этих передатчиков составляет $0,7^\circ$. Четвёртый спутник отсутствует на первой карте (рис. 1, а), а при расчете второй и третьей карт (рис. 1, б, в) имеет координаты нацеливания $(1,5^\circ \text{ ю.ш.}, 0,0^\circ \text{ в.д.})$, при этом угол раскрыва индикатрисы антенны его передатчика увеличивается от $0,3^\circ$ до $0,5^\circ$. Из рис. 1 можно сделать вывод, что помеховая обстановка существенно определяется пространственной конфигурацией системы приём/передачи. Особо отчетливо это проявляется во влиянии периферийных передатчиков на внутренний (четвертый), который, в свою очередь, искажает их информационные зоны.

На рис. 2 показана та же система связи с теми же характеристиками, как и выше, но как целое смещенная на $30,0^\circ$ на север. Хотя на такой широте триангуляционные искажения не столь значительны, как на более высоких широтах, вид информационных карт $P_{eM}(x, y)$ заметно изменился, что связано с увеличением проекций зон облучения в широтном направлении. Видно, что во-первых, увеличены пограничные слои помехового взаимовлияния, во-вторых, это влияние более выражено у спутников с одинаковой долготой. С ростом широты это влияние

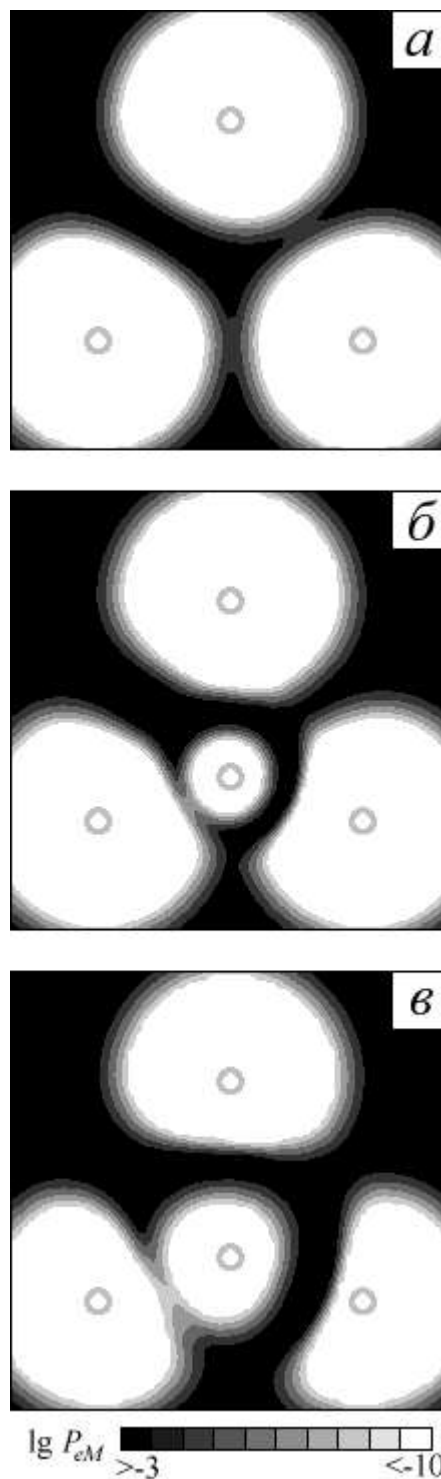


Рис. 1. Информационные карты вероятности ошибки $P_{eM}(x, y)$ для 4-спутниковой ССС, широта региона -0°

ещё более усиливается. На основании приведенных рисунков можно сделать вывод о том, что помеховая обстановка существенно меняется при введении в регион дополнительного спутника-ретранслятора, тем более расположенного между имеющимися.

При моделировании были использованы данные, наиболее характерные для эксплуатируемых в настоящее время систем. Приведем основные характеристики рассматриваемой системы:

— тип модуляции — фазовая с $M=2$;

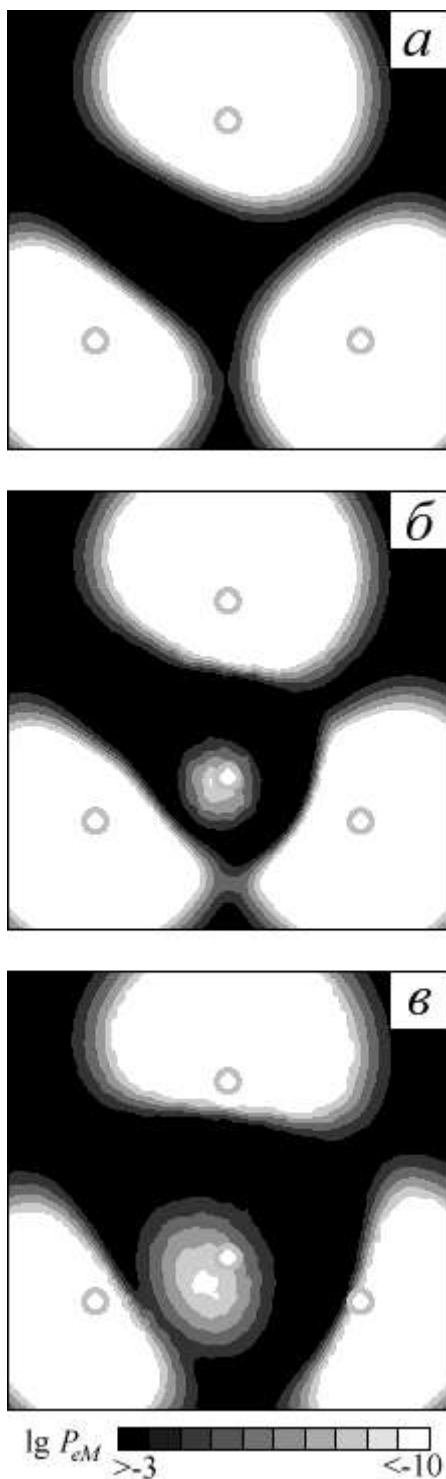


Рис.2. Информационные карты вероятности ошибки $P_{em}(x, y)$ для 4-спутниковой ССС, широта региона -30°

- коэффициент использования поверхности антенны ЗС $\eta = 0,5$;
- отношение апертуры к длине волны ЗС $D/\lambda = 100$;
- полная мощность шума на входе приемника $P_n = 40 \text{ dBW}$;
- угловой размер сечения луча антенн КС $\gamma = 1^\circ$;
- мощность бортовых передатчиков КС $P = 100 \text{ W}$.

Как видно из рис. 1, 2, имеется возможность надежного информационного обеспечения при передаче со спутников на ГО, что и делается на практике. Важным оказывается то обстоятельство, что между зонами уверенного приема располагаются промежуточные зоны, прием в которых всегда заведомо хуже вследствие взаимовлияния передатчиков. Уменьшить эти зоны информационной недостаточности при одночастотном режиме передачи возможно лишь путем улучшения угловой избирательности приемника, что, однако, сопряжено с техническими затруднениями [2].

Полученные численные характеристики вероятности ошибки позволяют оценить степень помехозащищенности системы при передаче и приеме сигналов потребителями в регионе. На основе таких характеристик можно решать задачу синтеза оптимальной конфигурации системы спутниковой связи.

Литература: 1. Калашиков Н.И. Основы расчета электромагнитной совместимости систем связи через ИСЗ. М.: Связь, 1970. 204 с. 2. Кантор Л.Я., Тимофеев В.В. Спутниковая связь и проблема геостационарной орбиты. М.: Радио и связь, 1988. С. 29-37. 3. Jeruchim M.C. A survey of interference problems and applications to geostationary satel-lite networks// Proc. IEEE, 1977, 65, №3. P.317-331. 4. Мазманишвили А.С., Рафалович О.Я. Численные модели помехоустойчивости для украинских региональных сетей спутниковой связи// Космическая наука и технология. 1998, 4. №1, С.92-101. 5. Бусленко Н.П., Шрейдер Ю.А. Метод статистических испытаний. М.: ФМГ, 1961. 312 с.

Поступила в редколлегию 03.12.1998

Рецензент: д-р техн. наук Поповский В.В.

Курманов Алексей Сергеевич, аспирант кафедры САУ ХГПУ. Научные интересы: теория связи, прикладная математика. Адрес: Украина, 310002, Харьков, ул. Фрунзе, 21, тел. 40-00-56.

Мазманишвили Александр Сергеевич, д-р физ.-мат. наук, профессор кафедры САУ ХГПУ. Научные интересы: теория цифровой связи, статистическая радиофизика, прикладная математика. Адрес: Украина, 310002, Харьков, ул. Фрунзе, 21, тел. 40-00-56, e-mail: mazmani@kpi.kharkov.ua.

Слипченко Николай Иванович, доцент кафедры МЭПУ ХТУРЭ. Научные интересы: разработка теории многофункциональных частотных элементов, спутниковых комплексов и систем. Адрес: Украина, 310726, Харьков, пр. Ленина, 14, тел. 47-01-07.