

22. *Upanikrishna Pillai S., Bar-Ness Y., Haber F.* A New Approach to Array Geometry to improved Spatial Spectrum Estimation // Proc. of IEEE. – 1985. – Vol. 73, № 10. – P. 93-95.
23. Хансен Р.С. Сканирующие антенные системы СВЧ: В 3-х т.: Пер. с англ. / Под ред. Г.Т. Маркова и А.Ф. Чаплина. – М.: Сов. Радио, 1966. Т. 1. – 536 с.; 1969. Т. 2. – 496 с.; 1971. Т. 3. – 464 с.
24. Иванов А.В. Математическое обеспечение программно-методического комплекса проектирования радиопеленгаторных антенн, основанное на систематизации их эвристических и строгих моделей: дис. ... канд. техн. наук. – Воронеж: ВГТУ, 2007. – 226 с.
25. Паньчев А.И., Соломахин П.А. Модель антенны базовой станции системы сотовой связи // Телекоммуникации. – 2003. – № 4. – С. 25-29.
26. Паньчев А.И., Тищенко Б.В. Оценка влияния ошибок изготовления антенны базовой станции системы GSM на ее характеристики // Антенны. – 2003. – Вып. 6(73). – С. 43-47.
27. Петров Б.М. Электродинамика и распространение радиоволн. – М.: Радио и связь, 2000. – 559 с.

Статью рекомендовал к опубликованию д.т.н., профессор Д.Д. Габриэлян.

Максимов Александр Викторович – Южный федеральный университет; e-mail: kafmps@tppark.ru; 347900, г. Таганрог, ул. Петровская, 81; тел.: 88634328058; кафедра встраиваемых систем; доцент.

Паньчев Андрей Иванович – e-mail: ruu2011@mail.ru; 347928, г. Таганрог, пер. Некрасовский, 44; тел.: +78634371733; кафедра антенн и радиопередающих устройств; доцент.

Ваганова Анастасия Алексеевна – e-mail: anastasia_vaganova@mail.ru; кафедра антенн и радиопередающих устройств; студент.

Maksimov Aleksandr Viktorovich – Southern Federal University; e-mail: kafmps@tppark.ru; 81, Petrovskaya street, Taganrog, 347900, Russia; phone: +78634328058; the department of embedded systems; associate professor.

Panychev Andrey Ivanovich – e-mail: gvf@dce.sfedu.ru; 44, Nekrasovsky, Taganrog, 347928, Russia; phone: +78634371737; department of antenna and radio transmitter units; associate professor.

Vaganova Anastasia Alekseevna – e-mail: anastasia_vaganova@mail.ru; the department of antenna and radio transmitter units; student.

УДК 621.396.67

Н.Н. Кисель, С.Г. Грищенко, Д.С. Дерачиц

ИССЛЕДОВАНИЕ НИЗКОПРОФИЛЬНЫХ КОНФОРМНЫХ МИКРОПОЛОСКОВЫХ АНТЕНН

В связи с ростом спроса на недорогие системы связи, микрополосковой плоской антенны, в последнее время претерпела огромный рост. Хотя применяемые конформные микрополосковые антенны широко используются, влияние кривизны на характеристики антенны детально не изучены. Микрополосковые антенны широко используются на таких объектах как самолеты, ракеты, в системах связи. Преимущества таких антенн очевидны, они технологичны, легко устанавливаются на такие объекты и не требуют наличия обтекателя. Проведены исследования характеристик конформной МПА на примере прямоугольного излучателя, расположенной на цилиндрической поверхности. Для моделирования характеристик антенны использовался пакет электромагнитного моделирования FEKO. Выполнена оптимизация конструкции плоской микрополосковой антенны по критерию обеспечения минимального коэффициента стоячей волны (КСВН). Получены обобщенные зависимости влияния радиуса кривизны антенны на резонансную частоту при различной ориентации МПА на цилиндрической поверхности. Показано, что при деформации антенны на цилиндрической поверхности в Е-плоскости с уменьшением кривизны резонансная частота антенны смещаются в сторону повышения частоты, в то время как при деформации антенны на цилиндрической

поверхности в H -плоскости с уменьшением кривизны резонансная частота антенны смещаются в сторону уменьшения частоты. Для конформной микрополосковой антенны место подключения питания, оптимальное с точки зрения минимума КСВН, не совпадает со случаем плоской антенны и зависит от радиуса кривизны. Показано, что кривизна микрополосковой антенны существенно влияет на КСВН и обратные потери.

Микрополосковая антенна; КСВН.

N.N. Kisel, S.G. Grishchenko D.S. Derachits

STUDY CONFORMAL LOW-PROFILE PATCH ANTENNA

Due to the increasing demand of low cost solutions for RF and microwave communication systems, the microstrip flat antenna, has undergone tremendous growth recently. Though the models used in analyzing microstrip structures have been widely accepted, the effect of curvature on antenna performance has not been studied in detail. Low profile, low weight, low cost and its ability of conforming to curve surfaces. Applications of microstrip structures include planes, rocket, radars and communication industry. Some advantages of conformal antennas over the planer microstrip structure include, easy installation, random not needed, capability of embedded structure within composite aerodynamic surfaces. Study of the characteristics of conformal microstrip rectangular antenna located on the cylindrical surface are given in the paper. Software FEKO was used for electromagnetic simulation of antenna characteristics. Optimization design of planar microstrip antenna for minimum VSWR made in the article. Generalized dependences of the radius of curvature of the antenna resonant frequency at different orientations of microstrip antennas on cylindrical surface is obtained. It is shown that with decreasing curvature of the resonant frequency of the antenna is shifted towards higher frequencies with the deformation of the antenna on a cylindrical surface in the E-plane, whereas when the deformation of the antenna on a cylindrical surface in the H-plane with decreasing curvature of the resonant frequency of the antenna is shifted in the direction of decreasing frequency. For conformal microstrip antenna the place of feed, optimal from the point of view of minimum VSWR is not the same as with the case of a flat antenna and place of feed point depends on the radius of curvature. It is shown that the curvature of the microstrip antenna greatly affects VSWR and return loss.

A microstrip antenna; VSWR.

Введение. К современным антенным устройствам предъявляются достаточно высокие требования по электродинамическим характеристикам, габаритам, весу, стоимости, конструктивным особенностям, учитывающим влияние формы объекта, на котором установлена антенна. В особенности это относится к антенным структурам аэрокосмической техники, которые по сути определяют характеристик радиотехнических систем в целом.

Имеется достаточное большое количество публикаций по проектированию, расчету и исследованию характеристик полосковых и микрополосковых излучающих структур [1–28]. Однако до сих пор подробно не исследованы вопросы, связанные с формированием характеристик излучения конформных излучателей микрополосковых антенн, не достаточно изложены вопросы влияния размеров и геометрии излучателя на характеристики излучения, что требует проведения дополнительных исследований.

В настоящее время основное внимание уделяется разработке антенн интегрированных с устройствами обработки и преобразования сигналов, таких как фильтры, фазовращатели) и антенн, размещенных поверхностях объекта и повторяющих фрагмент формы этого объекта. так называемых микрополосковых печатных конформных антенн. Форма конформной антенны определяется не электромагнитными, а только аэродинамическими или гидродинамическими соображениями (Международный электротехнический словарь Международной электротехнической комиссии, глава 712: Антенны 712-01-13). В общем случае антенну на плоской поверхности или кусочно-плоской также можно отнести к конформным, так как она принимает форму поверхности.

Основная часть. Одно из возможных приближений конформных антенн – аппроксимация конформной структуры локально плоской структурой, а затем использование известных методов моделирования плоских антенн. Такой подход возможен, если радиус кривизны структуры очень большой. Однако для меньшего радиуса свойства антенны начинают значительно отличаться от ее плоского аналога, и поэтому форма антенны должна строго учитываться. Для анализа и оптимизации характеристик конформных антенн и их схем питания точное 3D-электромагнитное моделирование приобретает особое значение.

Примеры различных конформных антенн изображены на рис. 1. Цилиндрическая поверхность является базовой искривленной поверхностью для конформных антенн. Вырезки из цилиндрических поверхностей соответствует элементам конструкции самолетов или наземных транспортных средств (фюзеляж, кабина, кромки поверхностей). Как правило такие антенны не требуют установки обтекателя [29–30].

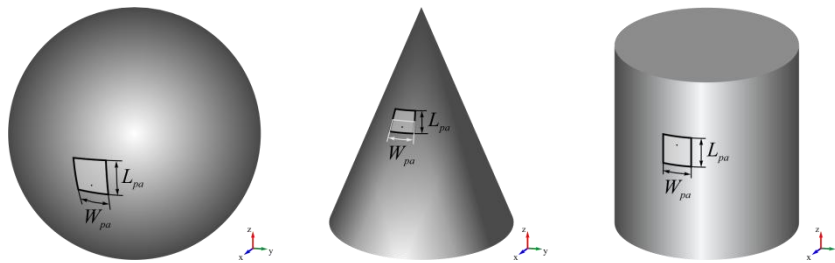


Рис. 1. Конформные микрополосковые антенны: а – сферическая; б – коническая; в – цилиндрическая

Простейший типовой микрополосковый излучатель состоит из тонкой прямоугольной металлической пластины, расположенной на диэлектрической подложке, обратная сторона которой полностью экранирована; такая МПА представлена на рис. 2.

Для антенн СВЧ толщина подложки диэлектрика выбирается в пределах от $\lambda_0/20\sqrt{\epsilon_r\mu_r}$ до $\lambda_0/50\sqrt{\epsilon_r\mu_r}$, где λ_0 – длина волны в свободном пространстве, ϵ_r, μ_r – соответственно диэлектрическая и магнитная проницаемости подложки. Хотя форма металлических пластин излучателей в общем случае весьма разнообразна, далее рассмотрим типовой вариант МПА прямоугольной формы.

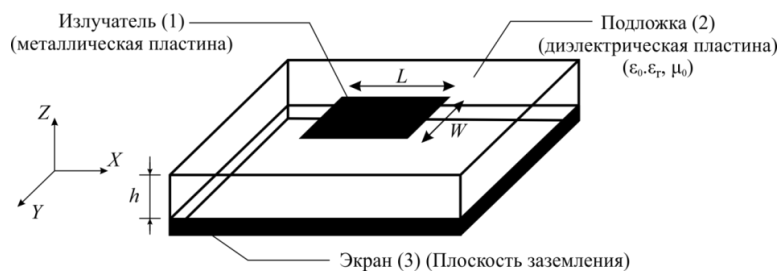


Рис. 2. Модель микрополосковой антенны

Упрощенно антенну можно представить в виде объемного резонатора, определяющего резонансную частоту антенны

$$f_{0,m,p}^{\text{рез}} = \frac{1}{2\pi\sqrt{\epsilon\mu}} \sqrt{\left(\frac{n\pi}{L}\right)^2 + \left(\frac{p\pi}{W}\right)^2}.$$

Оптимальная ширина прямоугольного излучателя микрополосковой антенны может быть найдена при помощи выражения:

$$W = \frac{1}{2f_0\sqrt{\varepsilon_0\mu_0}} \sqrt{\frac{2}{\varepsilon_r+1}}$$

Эффективная диэлектрическая проницаемость излучателя оценивается по формуле:

$$\varepsilon_{reff} = \left(\frac{\varepsilon_r+1}{2}\right) + \left(\frac{\varepsilon_r-1}{2}\right) \frac{1}{\sqrt{1+10\frac{h}{W}}}$$

Длина излучателя

$$L = \frac{c}{2f_0\sqrt{\varepsilon_{reff}}} = -2\Delta L$$

где ΔL - изменение длины из-за действия граничных полей на концах излучателя, ε_{reff} - эффективная диэлектрическая проницаемость. Величину ΔL можно оценить при помощи выражения:

$$\Delta L = 0.412h \frac{(\varepsilon_{reff} + 0.3) \left(\frac{W}{h} + 0.264\right)}{(\varepsilon_{reff} + 0.258) \left(\frac{W}{h} - 0.264\right)}, \quad W/h > 1$$

Эффективная длина рассчитывается следующим образом:

$$L_{eff} = L + 2\Delta L = \frac{\lambda}{2}$$

Размеры экрана, как правило, отличаются от размеров излучателя на величину $6h$ (рис.3)

$$L_g = 6h + L, \quad W_g = 6h + W,$$

в этом случае результаты, полученные для моделей на бесконечном и конечном экране практически не отличаются.

Рассмотрена прямоугольная МПА, возбуждаемая коаксиальным зондом. Точка питания располагается в месте, где входное сопротивление на резонансной частоте равно 50 Ом. Оптимизация конструкции исследуемой антенны по критерию обеспечения минимального коэффициента стоячей волны (КСВН) проведено с использованием пакета трехмерного электромагнитного моделирования FEKO [31].

Для определения места подключения антенны питающего фидера использовался метод **Simplex (Nelder-Mead)** – метод Нелдера-Мида, также известный как метод деформируемого многогранника или симплекс-метод [32].

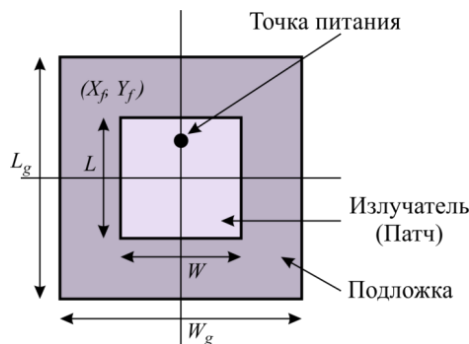


Рис. 3. Микрополосковая антенна, схема питания

При реализации этого метода не используются производные целевой функции, что позволяет применять его к негладким и/или зашумлённым функциям. В качестве целевой функции рассматривается оптимизация по элементам матрицы рассеяния *S-parameter Goal* – задается минимум *KCB (VSWR)* на заданной частоте

$$KCB = VSWR = \frac{1 + |S_{nm}|}{1 - |S_{nm}|}$$

Суть метода заключается в последовательном перемещении и деформировании треугольника («симплекса») вокруг точки экстремума.

После выполнения процедуры оптимизации определяется положение точки питания

```
Optimum found for these variables:
x                               = 8.823069390e+00
depth_element                   = 4.745050804e+01
width_element                   = 4.432210152e+01
subprt                          = 6.415026471e+01
Optimum aim function value:    0.000000000e+00
```

На рис. 4 приведены зависимости целевой функции $VSWR(n)$ и параметров оптимизации $x(n)$ и $y(n)$ (место подключения питающего фидера) от номера итерации.

После выполнения оптимизации характеристик плоской МПА выполнено исследование характеристик конформной антенны, расположенной на цилиндрической поверхности при различной кривизне цилиндрической поверхности.

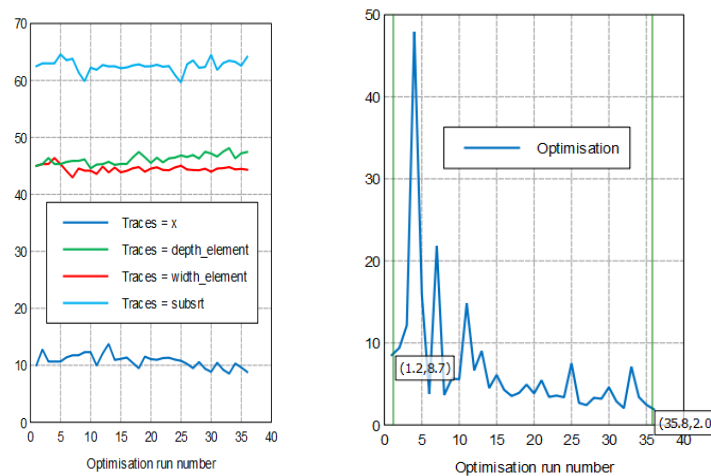


Рис. 4. Оптимизация места подключения точки питания для микрополосковой антенны по минимуму KCBH

Плоская МПА трансформируется в цилиндрическую МПА по следующему правилу модель 1: ширина антенны $L = r_1 \varphi_1$, W – длина остается неизменной (рис. 5,а) или модель 2: длина антенны $W = r_1 \varphi$, ширина L остается неизменной (рис. 5,б).

Далее приведены результаты исследований характеристик конформных микрополосковых антенн (МПА) (модель 1, модель 2) при различных радиусах кривизны (рис. 5).

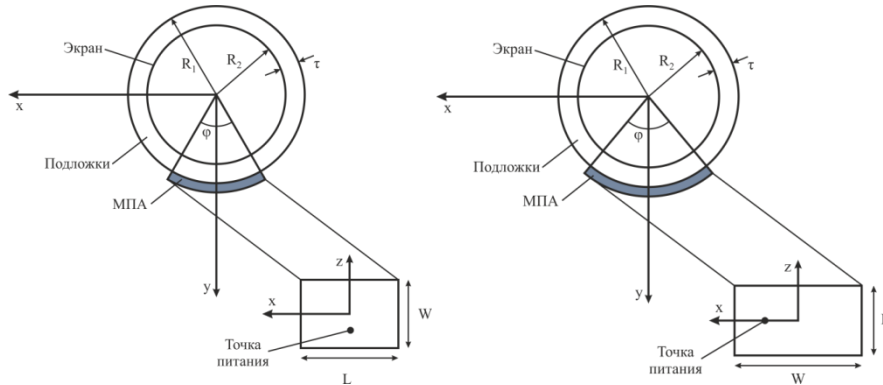


Рис. 5. Цилиндрическая микрополосковая антенна: модель 1, модель 2

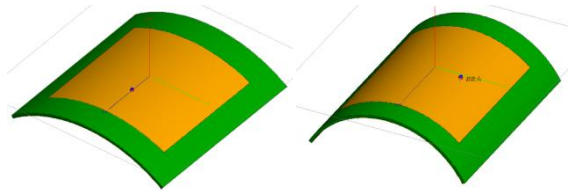


Рис. 6. Модели конформной микрополосковой антенны в FEKO

Для конформной микрополосковой антенны проведено исследование коэффициента отражения, КСВ, входного сопротивления антенны при изменении радиуса цилиндрической поверхности с 30 мм до 100 мм (рис. 7).

Как видно из анализа частотной зависимости обратных потерь Return Losses и коэффициента стоячей волны по напряжению КСВН для модели 2, с уменьшением кривизны резонансная частота антенны смещаются в сторону повышения частоты. Это изменение не столько велико и радиусе 30 мм - резонансная частота составила 1,575 ГГц, а при 100 мм – 1,555 ГГц, для плоской антенны резонансная частота – 1,548 ГГц.

Следует обратить внимание на высокую чувствительность к кривизне таких параметров как обратные потери, КСВ, которые при тех же вариациях кривизны меняются для коэффициента отражения с -11 дБ для плоской антенны до -5 дБ для антенны с радиусом кривизны 30 мм (рис. 7,а) и для КСВН с 1,8 до 3,7 (рис. 7,б).

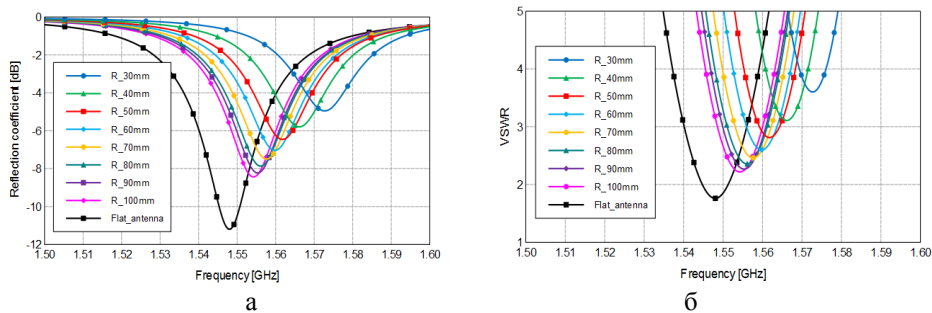


Рис. 7. Частотная зависимость обратных потерь Return Losses и КСВН конформной антенны (модель 2)

Следовательно, для конформной МПА место подключения питания, оптимальное с точки зрения минимума КСВН, не совпадает со случаем плоской МПА и зависит от радиуса кривизны. Аналогичные закономерности получены для модели 1, изображенной на рисунке рис.6. Однако резонансная частота для этой модели с уменьшением радиуса кривизны смещается в сторону уменьшения частоты. На рис. 8 приведены обобщенные зависимости резонансной частоты МПА от радиуса кривизны: кривая 1 – конформная МПА с искривлением по размеру W (модель 2), кривая 2 – плоская МПА, кривая 3 – конформная МПА с искривлением по размеру L (модель 1).

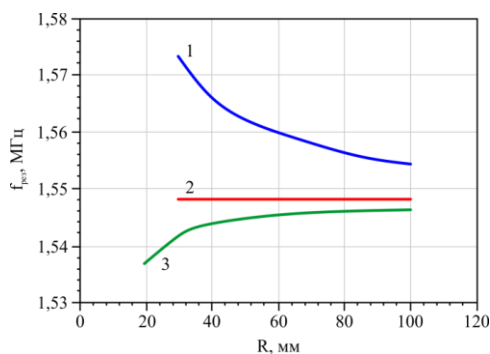


Рис. 8. Зависимость резонансной частоты МПА от радиуса кривизны R

Заключение. Таким образом, в работе проведены исследования характеристик конформной МПА на примере прямоугольного излучателя, расположенной на цилиндрической поверхности. Получены обобщенные зависимости влияния радиуса кривизны антенны на резонансную частоту при различной ориентации МПА на цилиндрической поверхности (модели 1, 2). Показано, что кривизна МПА существенно влияет на КСВН и обратные потери.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Воскресенский Д.И., Филиппов В.С. Антенны / Под ред. Д. И. Воскресенского. – М.: Радио и связь, 1985. – Вып. 32. – С. 4-17.
2. Нефедов Е.И., Козловский В.В., Згурский А.В. Микрополосковые излучающие и резонансные устройства. – Киев: Техника. 1990. – 160 с.
3. Панченко Б.А., Нефедов Е.И. Микрополосковые антенны. – Изд-во: М.: Радио и связь, 1986. – 144 с.
4. Панченко Б.А., Нечаев Ю.Б. Характеристики излучения полосковых антенн на подложках ограниченных размеров – Воронеж: ВГУ, 1992. – 91 с.
5. Панченко Б.А., Князев С.Т., Нечаев Ю.Б. Электродинамический расчет характеристик излучения полосковых антенн. – М.: Радио и связь, 2002. – 256 с.
6. Pozar D.M. Radiation on scattering from a microstrip patch on a uniaxial substrate // IEEE Transactions on Antennas and Propagation. – 1987. – Vol. 35. – P. 613-621.
7. Mosig I.R. A dynamic radiation model for microstrip structures // Advances in Electronics and Electron Physics. – 1982. – Vol. 59. – P. 139-234.
8. Mosig I.R. Analytical and numerical techniques in the Greens function treatment of microstrip antennas and scatters // IEE Proceeding. – 1983. – Pt. H. – Vol. 130. – P. 175-182.
9. Mosig I.R. Arbitrarily shaped microstrip structures and their analysis with a mixed potential integral equation // IEEE Transactions on Microwave theory and Techniques. – 1988. – Vol. – P. 314-323.
10. Нечаев Ю.Б. Исследование широкополосности прямоугольного микрополоскового элемента цифровой антенной решетки // Вестник ВГТУ. – 2009. – Т. 5, № 5. – С. 90-95:
11. Нечаев Ю.Б., Борисов Д.Н., Панкова М.А. Параметрическая оптимизация геометрии микрополосковых излучателей по критерию максимальной широкополосности // Вестник ВГТУ. – 2009. – Т. 5, № 5. – С. 219-221.

12. *Нечаев Ю.Б., Борисову Д.Н., Панкова М.А.* Электродинамические характеристики одно- и многослойных микрополосковых антенн на плоском экране // Теория и техника радиосвязи. Специальный выпуск. – 2009. – Вып. 5. – С. 45-54.
13. *Kumar G., Ray K.P.* Broadband microstrip antennas// Artech House antennas and propagation library. – 2003. – 407 p.
14. *Lee K.F.* Experimental and Simulation Studies of the Coaxially Fed U-Slot Rectangular Patch Antenna // IEE Proc. Microwaves, Antennas Propagation. – 1997. – Vol. 144, Pt-H. – №. 5. – P. 354-358.
15. *Подторжнов О.М., Воробьева З.М.* Печатные полосковые антенны // Обзоры по электронной технике. Серия: «Электроника СВЧ». – М.: ЦНИИ «Электроника». – 1982. – Вып. 8 (902). – 54 с.
16. *Mosig I.R.* A dynamic radiation' model for microstrip structures // Advances in Electronics and Electron Physics. – 1982. – Vol. 59. – P. 139-234.
17. *Munson R.E.* Conformal microstrip antennas and microstrip phased arrays // IEEE Transactions on Antennas and Propagation. – 1974. – Vol. 22. – P. 84-88.
18. *Derneryd A.* Linearly polarized microstrip antennas// IEEE Transactions on Antennas and Propagation. – 1976. – Vol. 24. – P. 846-851.
19. *Pues M.* Accurate transmission line model for the rectangular microstrip antenna // IEE Proceeding. – 1984. – Vol. 131, Pt.H.P. – P. 334-340.
20. *Lo Y.T.* Perturbation approach to design of circullary polarized microstrip antennas // Electronic letters. – 1981. – P. 383-385.
21. *Lo Y.T.* Theory and experiment on microstrip antennas // IEEE Transactions on Antennas and Propagation. – 1979. – Vol. 27. – P. 137-145.
22. *Deshpande M.D.* Input impedance of microstrip antennas // IEEE Transactions on Antennas and Propagation. – 1982. – Vol. 30. – P. 645-650. .
23. Handbook of Microstrip Antennas / Edited by JR James & PsHall. Published by: Peter Peregrinus Ltd., London, United Kingdom. – 1989. – P.1312. .
24. *Zhi Ning Chen.* Broadband Planar Antennas. Design and Applications. John Wiley & Sons. – 2006. – P. 242.
25. *Fang D.G.* Antenna Theory and Microstrip Antenna. CRC Press. Taylor & Francis Group, 2010. – 296 p.
26. *Ноаман Х.И.А., Галёб Х.А.Н., Кисель Н.Н.* Моделирование и оптимизация характеристик микрополосковой антенный для WIMAX связи // В сборнике: Новые технологии и проблемы технических наук Сборник научных трудов по итогам международной научно-практической конференции. Инновационный центр развития образования и науки. – Красноярск, 2014. – С. 115-118.
27. *Галёб Х.А.Н., Ноаман Х.И.А., Кисель Н.Н.* Моделирование и оптимизация характеристик микрополосковой антенны с использованием SIMPLEX-метода // В сборнике: Новые технологии и проблемы технических наук Сборник научных трудов по итогам международной научно-практической конференции. Инновационный центр развития образования и науки. – Красноярск. 2014.г. Красноярск. – 2014. – С. 118-121.
28. *Хамед М., Кисель Н.Н.* Моделирование характеристик микрополосковой антенной решетки S-диапазона // В сборнике: Новые технологии и проблемы технических наук Сборник научных трудов по итогам международной научно-практической конференции. Инновационный центр развития образования и науки. – Красноярск. – 2014. – С. 121-124.
29. *Кисель Н.Н., Грищенко С.Г.* Численное моделирование системы антенна-обтекатель // Известия ЮФУ. Технические науки. – 2012. – № 5 (130). – С. 104-108.
30. *Кисель Н.Н., Грищенко С.Г., Серов К.А.* Моделирование системы антенна-обтекатель с использованием CST MICROWAVE STUDIO // Антенны. – 2010. – № 2. – С. 38-43.
31. *Кисель Н.Н.* Моделирование прикладных задач электродинамики и антенн на супервычислительной системе в пакете ФЕКО: Учебное пособие. – Таганрог: Изд-во ЮФУ. – 2013. – 326 с.
32. *Кисель Н.Н., Грищенко С.Г., Кардос Д.А.* Оптимизация параметров комбинированной микрополосковой антенны // Известия ЮФУ. Технические науки. – 2012. – № 11 (136). – С. 25-31.

Статью рекомендовал к опубликованию д.т.н., профессор Д.Д. Габриэлян.

Деращиц Дмитрий Сергеевич – Южный федеральный университет; e-mail: dekanat-rtf@tti.sfedu.ru; 347928, г. Таганрог, пер. Некрасовский, 44; тел.: 88634371634; кафедра антенн и радиопередающих устройств; аспирант.

Кисель Наталья Николаевна – кафедра антенн и радиопередающих устройств; профессор; к.т.н.; доцент.

Грищенко Сергей Григорьевич – директор Института радиотехнических систем и управления; к.т.н.; доцент.

Derachits Dmitriy Sergeevich – Southern Federal University; e-mail: dekanat-rtf@tti.sfedu.ru; 44, Nekrasovskiy, Taganrog, 347928, Russia; phone: +78634371634; the department of antennas and radio transmitter, graduate student.

Kisel Natalia Nikolayevna – the department of antennas and radio transmitters; professor; cand. of eng. sc.; associate professor.

Grishchenko Sergey Grigorievich – director of Institute radio engineering system and control; cand. of eng. sc.; associate professor.

УДК 519.688

С.Л. Беляков, А.В. Боженюк, И.Н. Розенберг

АДАПТАЦИЯ ПРОЦЕДУРЫ ВИЗУАЛИЗАЦИИ ПРОСТРАНСТВЕННЫХ ДАННЫХ ГЕОИНФОРМАЦИОННЫМИ СЕРВИСАМИ*

Рассматривается задача анализа процедуры адаптации геоинформационного сервиса к содержательному наполнению собственной информационной базы и связанному с этим изменению поведения пользователей, визуально анализирующих пространственные данные. Данная задача относится к фундаментальной проблеме минимизации избыточности потоков данных в сетях. Актуальность исследования процесса визуализации диктуется также тем, что геоинформационные сервисы оперируют «большими данными». Это означает, что получение данных для решения прикладной задачи требует значительных затрат ресурсов и оказывает заметное влияние на результат решения задачи. Рассматривается задача управления визуализацией, предполагающая формирование максимально полезной для решения задачи рабочей области карты при ограничении на коммуникационные и вычислительные ресурсы. Управление строится на использовании базы знаний о построении полезных рабочих областей карты. Целью адаптации является минимизация отклонения числа картографических объектов рабочей области от заданного значения. Адаптация базируется на генерации правил-гипотез и проверке их истинности. Авторы вводят понятие аномалии диалога клиента и сервиса. Под аномалией понимается вызов функций «ручного» изменения сложности рабочей области. Считается, что в таком случае база знаний сервиса должна быть пополнена новыми знаниями о конструировании рабочей области. Новые правила строятся послефиксации аномалий. Анализируются факторы, влияющие на интервал наблюдения аномалии. Описывается структура создаваемых правил, рассмотрена процедура проверки их истинности. Всякое подтвержденное правило включается в базу знаний на определенный интервал времени. По истечении интервала правило переводится в ранг гипотезы.

Визуализация пространственных данных; геоинформационные системы; интеллектуальные системы; адаптация.

* Работа поддержана грантами РФФИ, проекты №15-01-00149 и №15-01-00185.