

- Minsk, Republic of Belarus, 22–24 May 2007 : in 2 vol. – Minsk, 2007. – Vol. 1. – P. 285–289.
5. Гладкий, И. И. О выборе шага обучения искусственных нейронных сетей прямого распространения / И. И. Гладкий, Л. П. Махнист, В. С. Рубанов, Т. Ю. Юхимук // Вычислительные методы, модели и образовательные технологии : сб. материалов VIII Междунар. науч.-практ. конф., Брест, 18 окт. 2019 г. / Брест. гос. ун-т им. А. С. Пушкина ; под общ. ред. А. А. Козинского. – Брест : БрГУ, 2019. – С. 121–122.
 6. Махнист, Л. П. О сходимости алгоритмов обучения искусственных нейронных сетей / Л. П. Махнист, А. В. Санюкевич, В. П. Черненко, М. М. Юхимук // Вычислительные методы, модели и образовательные технологии : сб. материалов VIII Междунар. науч.-практ. конф., Брест, 18 окт. 2019 г. / Брест. гос. ун-т им. А. С. Пушкина ; под общ. ред. А. А. Козинского. – Брест : БрГУ, 2019. – С. 133–135.
 7. Гладкий, И. И. О скорости сходимости и выборе шага обучения искусственных нейронных сетей прямого распространения / И. И. Гладкий, В. В. Будяков, Б. И. Чикалов, Т. Ю. Юхимук // Современные проблемы математики и вычислительной техники : сб. материалов XI Респ. науч. конф. молодых ученых и студентов, Брест, 21–22 нояб. 2019 г. / Брест. гос. техн. ун-т ; редкол.: В. А. Головки (гл. ред.) [и др.]. – Брест : БрГТУ, 2019. – С. 11–14.

26.02.2020

MAKHNIIST L. P., GOLOVKO V. A., HLADKI I. I., KARIMOVA T. I. Estimation of the convergence rate and the choice of the learning step of artificial feed forward neural networks

The paper presents various approaches to the choice of the learning step for a feed forward neural network and compares then in terms of the learning algorithm convergence using the steepest descent approach. The equations for calculating the learning step and the restrictions for their use are obtained. The proposed technique can be used in the back propagation algorithm for training a multilayer perceptron.

338.2: 681.3

.

Введение. В настоящее время отмечается устойчивая тенденция расширения программ международного сотрудничества по изучению планеты Марс. Начиная с 1965 года, земляне отправили к Марсу 45 космических аппаратов. В 2019 году на орбите Марса находились: орбитальный аппарат Mars Odyssey, зонды Mars Reconnaissance Orbiter и MAVEN, робот-марсоход Curiosity, европейская межпланетная станция Mars Express и индийская Mars Orbiter Mission. В 2020 году в рамках международного проекта «ЭкзоМарс» на планету будет отправлена российская посадочная платформа с европейским марсоходом [1].

Критическим фактором выполнения программ по изучению поверхности планеты является скорость передачи информации по радиоканалам космической связи. Оборудование марсохода генерирует огромное количество научных данных, и не всегда их удается отправлять: часть наименее важных данных иногда приходится удалять [2]. Передача информации роботом-марсоходом на станцию космической связи Земли обычно осуществляется через спутник-ретранслятор, находящийся на орбите Марса. Наиболее экономически целесообразным способом связи является передача информации непосредственно с марсохода на Землю и обратно. Однако, в настоящее время, в открытых литературных источниках не представлены расчеты, позволяющие оценить скорость передачи информации с учетом параметров канала связи (максимального расстояния между планетами, мощности передатчиков, коэффициентов приема/передающих антенн, модуляции сигнала, несущей частоты и др.). Поэтому целью настоящей работы явилась оценка скорости передачи информации космического канала связи марсоход-станция космической связи Земли при максимальной дальности между ними и минимально допустимой мощности передатчика марсохода.

Основные результаты. Передавать информацию с поверхности Марса сложнее, так как передатчик марсохода не может иметь

большую мощность (например, мощность радиоизотопного термоэлектрического генератора марсохода Curiosity составляет 110 Вт), а приемопередающая антенна большие габариты [3]. На станции космической связи Земли (СКСЗ) для повышения чувствительности при обработке радиосигналов низкого уровня из космоса применяются маломощные криоэлектронные радиотракты [4, 5].

Известно, что мощность сигнала на входе любого приемника радиосвязи (в данном случае приемника СКСЗ) можно рассчитать по формуле [6, 7]:

$$P_r = P_s + G_s - L_s - L + G_r - L_r, \quad (1)$$

где P_s – мощность передатчика марсохода в dBm, G_s , G_r – коэффициенты усиления антенн соответственно марсохода и СКСЗ в dB, L_s , L_r – ослабление сигнала в антенно-фидерном тракте соответственно марсохода и СКСЗ в dB, L – потери мощности радиосигнала при распространении в свободном пространстве на трассе марсоход – СКСЗ в dB.

Потери мощности сигнала на трассе рассчитываются по формуле [6]:

$$L = 20 \lg(4\pi Df / c), \quad (2)$$

где D – расстояние от Марса до Земли в метрах, f – несущая частота радиосигнала в Гц, $c = 3 \cdot 10^8$ м/с – скорость распространения электромагнитных волн.

В качестве приемопередающих антенн для спутников широко используются зеркальные параболические антенны, коэффициент усиления которых для заданной частоты можно оценить по формуле [8, 9]:

$$G_{s,r} = 10 \lg(k_0 (pdf / c)^2), \quad (3)$$

где $k_0 = 0,55$ – коэффициент использования поверхности зеркала, d – диаметр параболического отражателя в метрах.

Матюшков Александр Леонидович, к. т. н., доцент кафедры информационных радиотехнологий Белорусского государственного университета информатики и радиоэлектроники.

Беларусь, БГУиР, 220013, г. Минск, ул. Бровки, 6.

Воичехович Оксана Юрьевна, ст. преподаватель кафедры интеллектуальных информационных технологий Брестского государственного технического университета.

Михняев Андрей Леонидович, ст. преподаватель кафедры интеллектуальных информационных технологий Брестского государственного технического университета.

Беларусь, БрГТУ, 224017, г. Брест, ул. Московская, 267.

Пороговая чувствительность радиоприемного тракта в dBm определяется выражением [7]:

$$P_0 = 10 \lg(kT103) + 10 \lg F + 10 \lg SNR + K, \quad (4)$$

где $k = 1,38 \cdot 10^{-23}$ Дж/град – постоянная Больцмана, T – шумовая температура тракта антенна-приемник в градусах Кельвина, F – полоса частот, занимаемая радиосигналом при передаче информации в Гц, $SNR = P_c/P = P_c/(k^*T^*F)$ – требуемое отношение сигнал/шум (P – мощность сигнала, – мощность шума), K – коэффициент шума радиоприемного тракта в dB.

Для устойчивой связи необходимо иметь запас по мощности PD для принимаемого радиосигнала, величина которого должна учесть различные факторы при распространении электромагнитных волн (погодных условий, электромагнитной совместимости, солнечной активности и др.). Энергетический запас линий связи, используемых для программ исследования дальнего космоса, согласно рекомендациям Международного союза электросвязи должен составлять не менее 2...6 dB [10]. Определим этот запас в 6 dB (в 4 раза). Тогда

$$P_D = P_r - P_o > 6. \quad (5)$$

Для обеспечения максимальной дальности связи и для поддержания уровня вероятности битовой ошибки $10^{-5} \dots 10^{-6}$ при передаче цифровых сигналов используют энергетически наиболее выгодные виды модуляции, такие как двоичная фазовая манипуляция (BPSK) и квадратурная фазовая манипуляция (QPSK) [10, 11]. Помехоустойчивость сигналов в таких системах связи обеспечивается применением кодов с коррекцией ошибок и/или методов прямого расширения спектра, например, с помощью псевдослучайных последовательностей (ПСП), когда каждый бит исходной информационной последовательности кодируется (дублируется) некоторым заданным числом бит n . При этом, если Fu – ширина полосы частот, занимаемая радиосигналом без расширения спектра, Ru – скорость передачи информации, то при расширении спектра (при двоичной манипуляции) полоса частот $F = n^*Fu$, а общая скорость передачи цифровых символов $R = n^*Ru$.

Если мощность передатчика марсохода считать постоянной, то тогда при расширении спектра мощность сигнала должна равномерно распределяться между n импульсами и для отношения сигнал/шум имеем следующие выражения:

$$SNR = P_c / (kTF_u n^2), \quad (6)$$

$$SNR = SNR_u / n^2. \quad (7)$$

Величину SNR_u можно интерпретировать как отношение сигнал/шум при приеме сигналов в системах связи без расширения спектра. С учетом отношения (7) формула (4) преобразуется в выражение:

$$P_0 = 10 \lg(kT103) + 10 \lg F + K + 10 \lg(SNR_u / n^2). \quad (8)$$

В [12] показано, что полоса частот является прямой функцией частоты следования символов кодовой последовательности, огибающей модулирующего сигнала, а также числа n используемых импульсов:

$$n = F / Ru. \quad (9)$$

После подстановки последнего выражения в формулу (8) и преобразования имеем:

$$P_0 = 10 \lg(kT103) + 10 \lg Ru + K + 10 \lg SNR_u - 10 \lg n. \quad (10)$$

В работах [4, 5] представлены результаты исследований, согласно которым шумовая температура тракта антенна – приемник СКЗ составляет величину 20 градусов Кельвина, а коэффициент шума от 0,85 до 1,1 dB. Пороговое отношение сигнал/шум SNRu можно принять равным 20 dB [11]. Подставив эти значения в (10) и проведя вычисления, получим выражение:

$$P_0 = -164,49 + 10 \lg Ru - 10 \lg n. \quad (11)$$

Согласно рекомендациям Международного союза электросвязи для радиосвязи в дальнем космосе могут использоваться (при передаче информации на Землю) частоты от 8,4 до 8,45 ГГц и от 31,8 до 32,3 ГГц [11]. К конструкции антенн марсохода предъявляются более жесткие требования, чем к антеннам спутников в открытом космосе, так как на поверхности Марса происходят пыльные бури. Масса антенны больше, а габариты меньше. Выберем диаметр параболического отражателя для антенны марсохода в 1 метр (обычно для спутников в открытом космосе – 3 метра). Для СКЗ типовой диаметр параболического отражателя – 70 метров.

По формулам (2) и (3) выполним расчеты для двух значений несущих частот 8,425 и 32,05 ГГц с учетом расстояния от Марса до Земли $D = 401 \cdot 10^9$ метров, ослабления сигнала в антенно-фидерном тракте соответствующих параболических антенн 0,25 и 0,5 dB. Рекомендуемая мощность передатчика дальнего космоса от 5 до 100 Вт [10]. Поскольку источник питания марсохода имеет ограниченную мощность, выберем мощность передатчика величиной 10 Вт (40 dBm). Рассчитанные значения по формулам (2) и (3) подставим в формулу (1), с учетом мощности передатчика марсохода получим:

- для 8,425 ГГц $Pr = 40 + 36,31 - 0,25 - 283 + 73,21 - 0,5 = -134,23$ dBm;
 - для 32,05 ГГц $Pr = 40 + 47,92 - 0,25 - 294,62 + 84,82 - 0,5 = -122,63$ dBm.
- После подстановки в формулу (5) имеем выражения:

$$PD = -134,23 + 164,49 - 10 \lg Ru + 10 \lg > 6; \quad (12)$$

$$PD = -122,63 + 164,49 - 10 \lg Ru + 10 \lg > 6. \quad (13)$$

В выражениях (12) и (13) Ign – реализуемый выигрыш в dB при когерентной обработке фазоманипулированных сигналов (например, BPSK, DBPSK) в системах связи с прямым расширением спектра [13]. После преобразований и исключения десятичных логарифмов:

$$\text{для } 8,425 \text{ ГГц } 266,7n > Ru; \quad (14)$$

$$\text{для } 32,05 \text{ ГГц } 3854,8n > Ru. \quad (15)$$

С ростом числа символов кодовой последовательности n увеличивается скорость передачи информации, однако это увеличение конструктивно ограничивается шириной полосы пропускания частот радиосигналов оборудования системы связи. Например, ширина полосы пропускания частот зеркальных параболических антенн составляет, по литературным данным, от 0,2 до 0,25 от центральной (несущей) частоты радиосигнала [8]. Для частоты 8,425 ГГц эта ширина составляет $F = 2,1$ ГГц, а для частоты 32,05 ГГц – 8 ГГц. В требованиях к ширине полосы радиопередающих устройств для исследования дальнего космоса указано, что ширина полосы радиочастот для фазоманипулированных сигналов при использовании кодирования определяется выражением [14]:

$$F = 4R. \quad (16)$$

$$\text{Или с учетом выражения (9) } F = 4_n Ru. \quad (17)$$

Используя значения ширины полосы пропускания радиосигналов, выражения (14), (15) и (16), получим оценку скорости передачи информации:

- для частоты 8,425 ГГц Ru – не более 374 кбит/с, количество импульсов расширения кодовой последовательности $n = 1404$;
- для частоты 32,05 ГГц Ru – не более 2,78 Мбит/с, количество импульсов расширения кодовой последовательности $n = 719$.

Заключение. Представленные расчеты показывают:

- во-первых, что имеется принципиальная возможность использования передатчиков малой мощности на марсоходах для связи без ретрансляторов с Землей с приемлемыми скоростями передачи научной информации;
- во-вторых, что использование приемо-передающего оборудования в диапазоне частот от 31,8 до 32,3 ГГц является энергетически более выгодным (количество импульсов расширения кодовой последовательности практически в два раза меньше) и эффективным с точки зрения скорости передачи информации.

СПИСОК ЦИТИРОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Марс-бросок. Какие задачи стоят перед Российско-Европейской миссией «ЭКЗОМАРС» [Электронный ресурс]. – 2016. – Режим доступа : <http://www.tass.ru/spec/na-mars/> – Дата доступа : 17.01.2020.
2. Звоним на Марс: как NASA осуществляет связь с Curiosity [Электронный ресурс]. – 2013. – Режим доступа : <http://www.habr.com/ru/post/172601/> – Дата доступа : 17.01.2020.

