

УДК 621.391

АЛГОРИТМ AL-ARQ ДЛЯ ПОТОКОВОЙ ДОСТАВКИ ВИДЕОДАНЫХ В БЕСПРОВОДНОЙ ЛОКАЛЬНОЙ СЕТИ

Чунаев А.В., Абилов А.В., Павлова М.М.

Ижевский государственный технический университет им. М.Т. Калашиникова, Ижевск, РФ

E-mail: andrew.chunaev@mail.ru

Статья посвящена разработке и исследованию эффективности алгоритма AL-ARQ (Application Layer ARQ) для коррекции потерь фрагментов потоковых видеоданных на прикладном уровне модели OSI в беспроводной локальной сети. Исследования проводятся на основе математического анализа и экспериментов путем программной реализации предложенного алгоритма. Результаты исследований подтверждают эффективность предложенного алгоритма.

Ключевые слова: прикладной уровень, коэффициент потерь, потоковые видеоданные, модель Гильберта, беспроводная локальная сеть, WLAN, ARQ

Введение

Передача потоковых видеоданных по беспроводным локальным сетям в настоящее время занимает все большее место в сфере телекоммуникаций и используется в мультимедийных услугах, таких как просмотр видеотрансляций, организация мультимедийных конференций, управление в реальном времени, сетевые игры и других приложениях. Однако качество передачи в беспроводных сетях подвержено влиянию таких факторов, как ослабление сигнала, межканальная интерференция, многолучевое распространение. В результате фрагменты данных могут теряться, задерживаться или менять порядок следования. Таким образом, например, при использовании видеосерверов в таких сетях, на проигрываемом видеофрагменте могут появляться искажения либо воспроизведение становится невозможным [1; 5] – см. рис. 1.

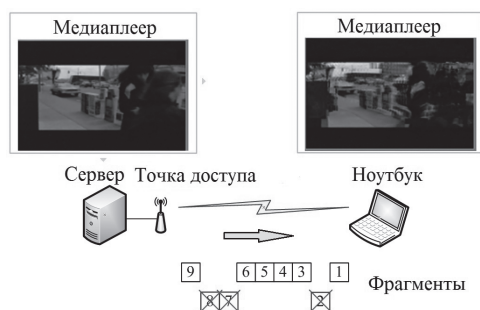


Рис. 1. Снижение качества видео из-за низкого качества связи в беспроводной локальной сети

Для повышения качества доставки данных могут использоваться такие методы коррекции потерь пакетов, как автоматический запрос повторной передачи ARQ (Automatic Repeat ReQuest) и прямое исправление ошибок FEC (Forward Error Correction) на различных уровнях модели вза-

имодействия открытых систем [2-3]. Однако в беспроводных локальных сетях с применением стандартов семейства 802.11 (Wi-Fi) совершенствование этих методов, реализованных на канальном уровне, привело бы к необходимости изменений в самих стандартах, что усложняет процесс внедрения.

Потенциальной возможностью повышения качества доставки видеоданных является совершенствование этих методов путем их реализации на прикладном уровне модели OSI, что не влечет за собой необходимость изменений в стандартах нижележащих уровней и при этом упрощает процесс реализации путем установки программного обеспечения на узлы сети (источник и получатели видеоданных). В статье предлагается алгоритм AL-ARQ (Application Layer ARQ) для коррекции потерь фрагментов потоковых видеоданных на прикладном уровне модели OSI в беспроводной локальной сети и его программная реализация.

Качество доставки видеоданных в реальном режиме времени повышается за счет переспроса потерянных фрагментов видеоданных на прикладном уровне модели OSI. Проводится математический анализ и экспериментальные исследования эффективности алгоритма AL-ARQ в условиях потерь фрагментов при передаче по беспроводной локальной сети.

Алгоритм AL-ARQ

Алгоритм AL-ARQ прикладного уровня модели OSI разработан на основе наиболее эффективной схемы с выборочным повтором (Selective Repeat). В такой схеме потери фрагментов данных определяются по отсутствующим порядковым номерам в буфере получателя. После уста-

новления факта потери фрагмента видеоданных (по отсутствующему номеру на стороне получателя) получатель высылает источнику запрос для его повторной передачи (см. рис. 2). Если эта попытка unsuccessful, то через тайм-аут повторной пересылки T_{RTO} высылается следующий запрос на повторную передачу этого фрагмента и т.д. пока не исчерпается тайм-аут ожидания фрагмента.

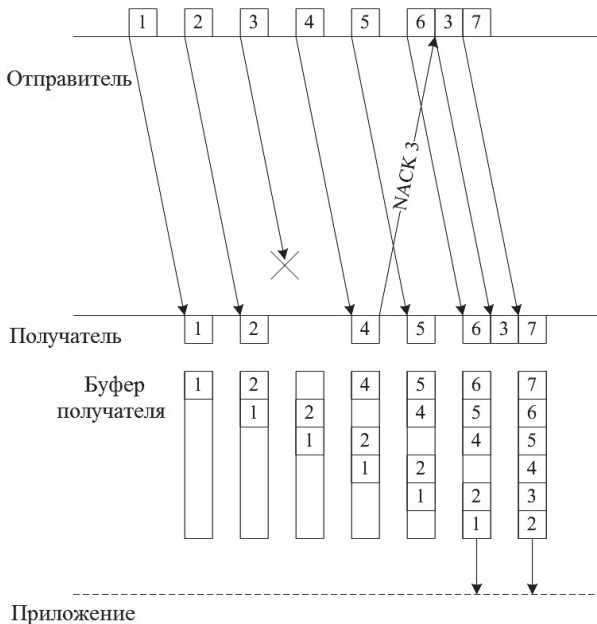


Рис. 2. Принцип работы AL-ARQ

В этой схеме используется два буфера: один – на отправителе, для запоминания фрагментов, которые, возможно, будет необходимо выслать повторно, другой – на получателе, для коррекции порядка следования фрагментов, который может нарушиться как вследствие вариации задержек доставки фрагментов, так и из-за ожидания потерянных фрагментов. В предлагаемом алгоритме AL-ARQ уровня тайм-аут повторной пересылки T_{RTO} вычисляется на основе аппроксимации времени цикла двусторонней передачи (Round Trip Time) T_{RTT} в несколько этапов [4].

1. Вычисляется текущее сглаженное время цикла двусторонней передачи (Smoothed Round Trip Time) $T_{SRTT\ cur}$, которое учитывает приоритет последних значений:

$$T_{SRTT\ cur} = 7/8 \cdot T_{SRTT\ prev} + 1/8 \cdot T_{RTT\ cur}, \quad (1)$$

где $T_{SRTT\ prev}$ – предыдущее сглаженное время цикла, $T_{RTT\ cur}$ – текущее время цикла.

2. Определяется текущее отклонение (девиация) $T_{DEV\ cur}$:

$$T_{DEV\ cur} = |T_{RTT\ cur} - T_{SRTT\ prev}|. \quad (2)$$

3. Вычисляется текущее сглаженное значение отклонения $T_{SDEV\ cur}$:

$$T_{SDEV\ cur} = 3/4 \cdot T_{SDEV\ prev} + 1/4 \cdot T_{DEV\ cur}, \quad (3)$$

где $T_{SDEV\ prev}$ – предыдущее значение сглаженного отклонения.

4. Тайм-аут повторной пересылки вычисляется по следующей формуле:

$$T_{RTO} = T_{SRTT\ cur} + 2 \cdot T_{SDEV\ cur}. \quad (4)$$

На рис. 3 приведены форматы сообщений прикладного уровня модели OSI, используемые в рассматриваемом алгоритме. Поля в сообщениях имеют следующие обозначения: ID – идентификатор сообщения; NR – номер ретрансляции; SN – порядковый номер фрагмента; N – количество пачек потерянных фрагментов; BL – размер пачки. Цифрами над полями указан размер соответствующего поля в битах. В случае потери пачки фрагментов размером L ($L > 1$) высылается только одна квитанция с запросом повторной передачи. Фрагменты этой пачки составляют группу ожидаемых фрагментов.



Рис. 3. Форматы сообщений AL-ARQ: а) для передачи данных; б) для отправки отрицательных квитанций запроса повторной передачи и сообщений отмены запроса повторной передачи

Так как фрагменты могут теряться и при повторной пересылке, то в ответ на запрос повторной передачи пачки фрагментов может прийти только часть ожидаемых фрагментов. Таким образом, одна группа ожидаемых фрагментов может распасться на N пачек фрагментов с соответствующими размерами $BL_1, BL_2, \dots, BL_N$. Количество фрагментов, находящихся в буфере отправителя, определяется в соответствии с тайм-аутом ожидания фрагмента. Если в момент получения отрицательной квитанции в буфере источника отсутствуют запрашиваемые фрагменты, то получателю посылается сообщение отмены запроса повторной передачи. На стороне получателя после приема этого сообщения фрагменты, указанные в этом сообщении, удаляются из списка ожидаемых пакетов.

В момент определения потери одного или нескольких фрагментов получатель высылает источнику отрицательную квитанцию, и номера этих фрагментов заносятся в базу данных получателя для ожидания (см. рис. 4).

В случае получения ожидаемых фрагментов соответствующие порядковые номера удаляются из этой базы данных, при этом отсчитывается оставшееся время до следующего запроса повторной передачи. По его истечении на основе группы ожидаемых фрагментов, находящихся в базе данных, высылается отрицательная квитанция. Эта процедура повторяется до тех пор, пока все требуемые фрагменты не восстановлены, или до тех пор, пока они являются актуальными для приложения.

Экспериментальное исследование алгоритма AL-ARQ для WLAN

Потери фрагментов при передаче потоковых видеоданных по беспроводной локальной сети

(WLAN) могут быть смоделированы с помощью модели Гильберта (рисунок 5). Эта модель задает среднюю вероятность потерь фрагментов P и средний размер пачки L , которые определяют вероятности переходов p и q между состояниями без ошибок G или с ошибками B в соответствии со следующими формулами [6]:

$$p = \frac{1}{L}, \quad q = \frac{P}{L(1-P)}. \quad (5)$$

При запуске приложения в командной строке операционной системы семейства Windows задаются IP адрес и порт серверного приложения, объем выборки измерения потерь фрагментов и время ожидания потерянного фрагмента в мс.

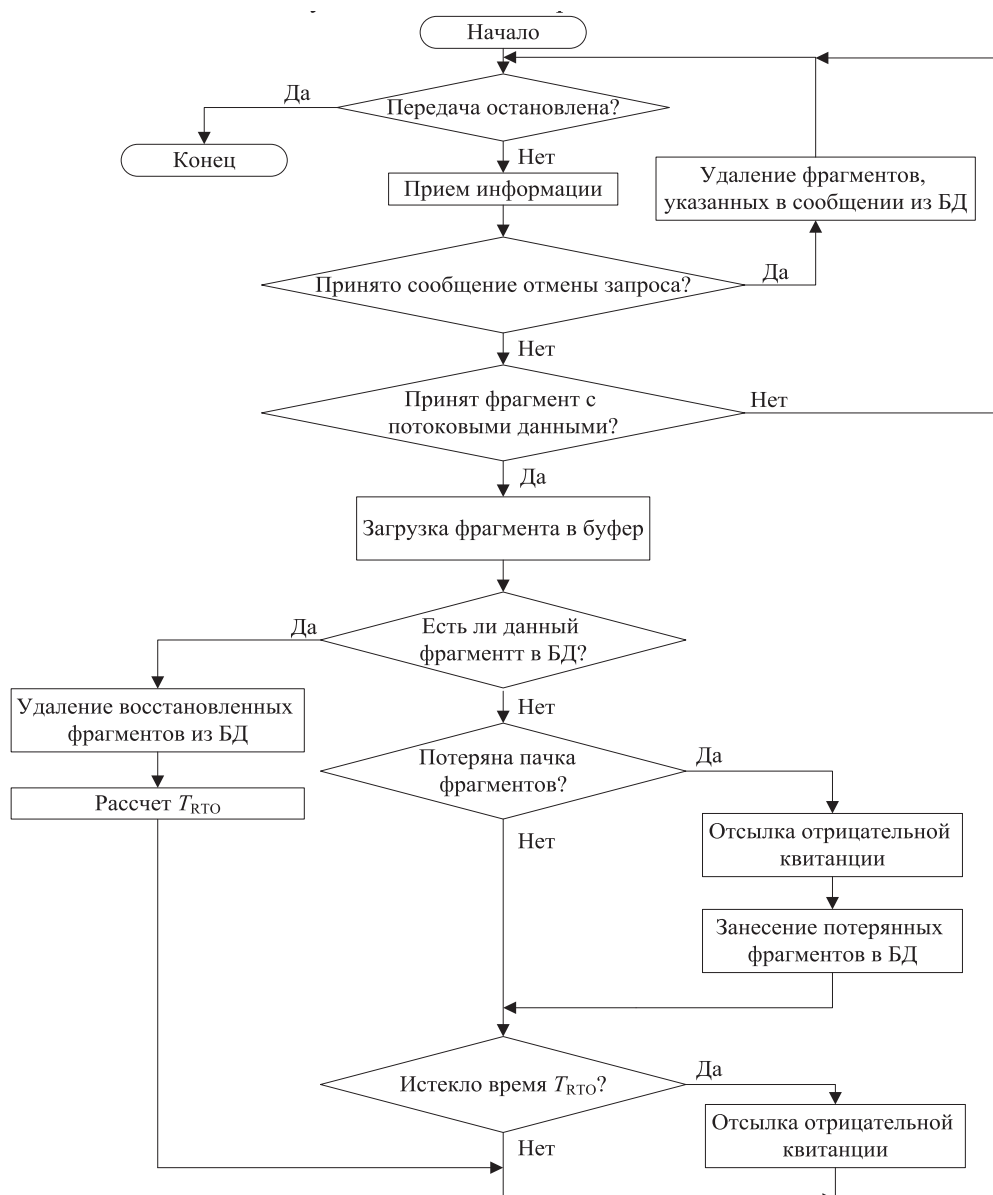


Рис. 4. Блок-схема алгоритма AL-ARQ

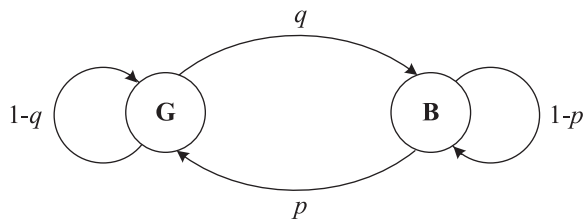
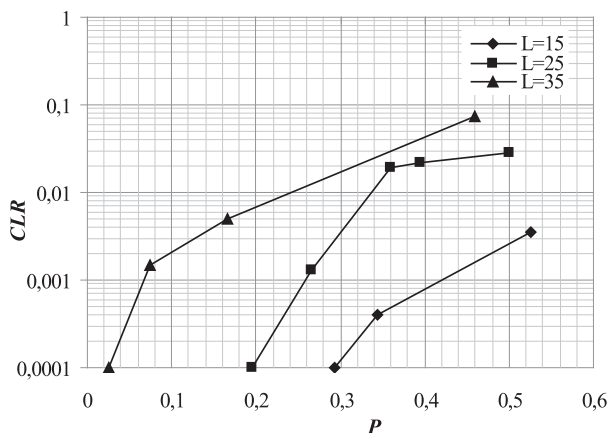


Рис. 5. Модель Гильберта [6]

Для экспериментального исследования эффективности функционирования алгоритма AL-ARQ на его выходе был реализован программный измеритель коэффициента потерь фрагментов (*CLR* – *Chunk Loss Ratio*). В ходе эксперимента в качестве видео, которое транслировалось по сети WLAN, использовалась тестовая последовательность видеокладов «highway» [8]. Передача видео осуществлялась со стационарного компьютера через точку беспроводного доступа, реализованной в Wi-Fi роутере Linksys WRT54GL, на клиентский ноутбук.

Результаты эксперимента в виде зависимости *CLR* от вероятности потери фрагмента (*P*) при различных значениях среднего размера пачки потерянных фрагментов (*L*) иллюстрируются на рис. 6. Из графика видно, что при увеличении среднего размера пачки потерянных фрагментов увеличивается количество потерянных фрагментов после коррекции.

Рис. 6. Зависимости *CLR* от *P* при различных *L*

Согласно [7] коэффициент потерь фрагментов *CLR* для трансляции видеопотока необходимо обеспечивать на уровне не более 0,001. Предложенный алгоритм удовлетворяет этому требованию при следующих условиях: при $L = 15$, $P < 0,42$; при $L = 25$, $P < 0,26$; при $L = 35$, $P < 0,06$.

На рисунке 7а в качестве наглядного примера, иллюстрирующего разницу в качестве воспроизведения видео, для случая $P = 0,1$ и $L = 35$ приведен один из кадров с экрана видеоплеера при приеме без коррекции и на рис. 7б – при приеме с коррекцией потерянных фрагментов по алгоритму AL-ARQ.

Результаты эксперимента показывают, что даже при высоких значениях *L* алгоритм AL-ARQ позволяет существенно уменьшить коэффициент потерь фрагментов, что сказывается на улучшении качества видео.

Выводы

В работе предложен и программно реализован алгоритм коррекции потерь фрагментов AL-ARQ прикладного уровня модели OSI. Разработаны форматы сообщений, используемых как для передачи фрагментов видеоданных, так и для сообщений запроса повторной передачи.



а)



б)

Рис. 7. Кадр с экрана видеоплеера при приеме видео: а) без AL-ARQ; б) с AL-ARQ

Экспериментальное исследование алгоритма AL-ARQ для потоковой передачи видео в сети WLAN подтверждает его эффективность. В качестве критерия эффективности предложенного алгоритма используется коэффициент потерь фрагментов *CLR*. Выявлена зависимость *CLR* не только от заданной вероятности потерь фрагментов *P*, но и от среднего размера пачки потерянных фрагментов *L*. При $P = 0,1$ и $L = 35$, например, коэффициент потерь фрагментов уменьшается в 91 раз.

Литература

1. Васильев Д.С., Чунаев А.В., Абилов А.В. Экспериментальное исследование качества передачи видео в древовидной P2P сети с алгоритмом ARQ прикладного уровня // T-Comm – Телекоммуникации и транспорт. №1, 2014. – С. 10-14.
2. Левин А.В., Петров О.А., Хабаров Е.О., Шалковский С.Ю. Декодирование сверточных кодов на выходе канала с МСИ с использованием выравнивателя с обратной связью по решению и мягкого декодера Витерби // ИКТ. Т.7, № 4, 2009. – С. 28-32.
3. Малофей О.П., Манаенко С.С., Мишин Д.В., Потягов Д.А. Алгоритм определения корректирующей способности блочных кодов, построенных из сверточного // ИКТ. Т.8, №1, 2010. – С. 55-58.
4. Фейт С. TCP/IP: Архитектуры, протоколы, реализация (включая IP версии 6 и IP Security) // М.: Лорри, 2000. – 425 с.
5. Чунаев А.В., Абилов А.В. Влияние характеристик передачи потоковых данных на качество видео в WLAN // T-Comm – Телекоммуникации и транспорт. №7, 2012. – С. 219-225.
6. Aldridge R.P., Ghanbar, M. Bursty error model for digital transmission channels // IEEE Letters. 1995. № 31.
7. ITU-T Rec. Y.1541. Network performance objectives for IP-based services. Prepublished version. 02/2006.
8. YUV CIF reference videos (lossless H.264 encoded). URL: <http://www2.tkn.tu-berlin.de/research/evalvid/cif.html> (дата обращения 30.09.2014).

Получено 20.11.2014

Чунаев Андрей Вячеславович, инженер Центра инфокоммуникаций Ижевского государственного технического университета им. М.Т. Калашникова (ИжГТУ). Тел. 8-951-196-01-82. E-mail: andrew.chunaev@mail.ru

Абилов Альберт Винаерович, к.т.н., доцент Кафедры сетей связи и телекоммуникационных систем (ССи ТС) ИжГТУ. Тел. 8-912-856-22-02. E-mail: albert.abilov@istu.ru

Павлова Мария Михайловна, старший преподаватель Кафедры СС и ТС ИжГТУ. Тел. 8-909-066-26-26. E-mail: mariya.m.pavlova@mail.ru

AL-ARQ ALGORITHM FOR VIDEO STREAMING IN WLAN

Chunaev A.V., Abilov A.V., Pavlova M.M.

Many external factors influence the quality of video-streaming in WLAN and fragments of the video can be lost, delayed or have changed sequence. The potential to improve the quality of the video is to develop methods by their implementation at the application level of the OSI model, which does not entail the need for changing in the standards of the lower level and thus simplifies the implementation process by installing the software on client nodes. Article is devoted to the development and research of the effectiveness of the AL-ARQ algorithm (Application Layer ARQ) to correct the packet losses of streaming video data at the application layer of the OSI model in the WLAN. The quality of video delivery in real time is increased by repeated fragments of lost video data on the application layer of the OSI model. Developed formats of messages are used both for delivery of the video fragments and request for retransmission. We offer the software implementation of the AL-ARQ algorithm. The experimental study of the effectiveness of the AL-ARQ algorithm is performed in a packet losses condition during transmission over WLAN. As a criterion for the effectiveness for the proposed algorithm the packet loss ratio is used. The results prove the effectiveness of the proposed algorithm.

Keywords: application layer, loss ratio, video streaming, Gilbert model, WLAN, ARQ.

Chunaev Andrey Vyacheslavovich, Engineer of Infocommunications Center, Kalashnikov Izhevsk State Technical University, Izhevsk, Russian Federation. Tel: +7 951 196 01 82. Email: andrew.chunaev@mail.ru

Abilov Albert Vinerovich, PhD in Technical Science, Associated Professor of Department of Communication Networks and Telecommunication Systems, Kalashnikov Izhevsk State Technical University, Izhevsk, Russian Federation. Tel: +7 912 856 22 02. Email: albert.abilov@istu.ru

Pavlova Maria Mikhailovna, Senior Assistant of Department of Communication Networks and Telecommunication Systems, Kalashnikov Izhevsk State Technical University, Izhevsk, Russian Federation.. Tel: +7 909 066 26 26. Email: mariya.m.pavlova@mail.ru

References

1. Vasil'ev D.S., Chunaev A.V., Abilov A.V. Jeksperimental'noe issledovanie kachestva peredachi video v drevovidnoj P2P seti s algoritmom ARQ prikladnogo urovnja [Video quality measurement in tree based P2P network with ARQ]. *T-Comm – Telekommunikacii i transport*, 2014, no. 1, pp. 10-14.
2. Levin A.V., Petrov O.A., Habarov E.O., Shalkovskij S.Ju. Dekodirovanie svertochnykh kodov na vyhode kanala s MSI s ispol'zovaniem vyравnivatelja s obratnoj svjaz'ju po resheniju i mjagkogo dekodera Viterbi [Decoding of convolutional codes on output of channels with intersymbol interference with decision feedback equalizer and soft Viterbi decoder]. *Infokommunikacionnye tehnologii*, 2009, vol.7, no. 4, pp. 28-32.
3. Malofej O.P., Manaenko S.S., Mishin D.V., Potjagov D.A. Algoritm opredelenija korrektrujushhej sposobnosti blochnykh kodov, postroennykh iz svertochnogo [Algorithm of determination of correcting ability of the block codes constructed of the convolution code] *Infokommunikacionnye tehnologii*, 2010, vol. 8, no. 1, pp. 55-58.
4. Fejt S. *TCP/IP: Arhitektury, protokoly, realizacija (vključaja IP versii 6 i IP Security)* (Architectures, protocols, implementation (inc. IP v.6 and IP Security)). Moscow, Lorri Publ., 2000, 425 p.
5. Chunaev A.V., Abilov A.V. Vlijanie harakteristik peredachi potokovykh dannykh na kachestvo video v WLAN [Streaming data transferring characteristics influence on the video quality in WLAN]. *T-Comm – Telekommunikacii i transport*, 2012, no. 7, pp. 219-225.
6. Aldridge R.P., Ghanbar M. Bursty error model for digital transmission channels. *IEEE Letters*, 1995 vol. 31, no. 25, pp. 2144-2145. doi: 10.1049/el:19951482
7. ITU-T Rec. Y.1541. Network performance objectives for IP-based services. Prepublished version. 02/2006.
8. YUV CIF reference videos (lossless H.264 encoded). Available at: <http://www2.tkn.tu-berlin.de/research/evalvid/cif.html> (accessed 30.09.2014).

Received 20.11.2014

УДК 621.396.677.45

ИССЛЕДОВАНИЕ ПОЛЯРИЗАЦИОННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК АНТЕННЫ НА ОСНОВЕ ПОДМАГНИЧЕННОГО ГИРОМАГНИТНОГО РЕЗОНАТОРА С РАЗЛИЧНЫМИ ТИПАМИ ОБЪЕМНЫХ РЕЗОНАТОРОВ

Солдатов А.А., Ложкин Л.Д.

Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики, Самара, РФ

E-mail: leon.lozhkin@yandex.ru

В статье проводится анализ характеристик антенны на гиромагнитном резонаторе с различными типами открытых объемных резонаторов. Более подробно рассматриваются поляризационные характеристики антенны, важные для создания измерителей и модуляторов эллиптичности излучения. Построены кривые зависимости коэффициента эллиптичности в пространстве и приведены формулы расчета характеристик антенн на основе подмагниченного гиромагнитного резонатора.

Ключевые слова: гиромагнитный резонатор, открытый объемный резонатор, поляризационная характеристика, коэффициент эллиптичности.

На основе подмагниченного гиромагнитного резонатора (ГР) возможно создание управляемых частотно-независимых СВЧ-антенн [1]. Несмотря на то что ГР в таких антеннах является промежуточным звеном между возбуждающим СВЧ-полем и открытым резонатором (ОР), основные свойства таких излучателей определяются подмагниченным ГР, а именно: создание вращающегося поля с эллиптической (а в осевом направлении с круговой) поляризацией; электрическая коммутация направления вращения поля; высокая частотная избирательность; магнитная перестройка частоты поля излучения.

Наиболее компактная конструкция излучателя на основе ГР показана на рис. 1. Принцип действия излучателей на основе подмагниченного ГР основан на следующих физических процессах: возбуждение полем фидерной линии процессии намагниченности сферического ГР; возбуждение в открытом резонаторе колебания квази-Е₁₁₀ типа с вращающейся поляризацией через боковую поверхность ОР; излучение ОР во внешнее пространство электромагнитного поля с вращающейся поляризацией через боковую поверхность ОР.

Математическая модель для расчета поля излучения в дальней зоне в цилиндрической системе (ρ, φ, z) координат представляет собой