

Обзор подходов к адаптивной коррекции ошибок при передаче изображений по зашумленному каналу

С. В. Скороход, Д. С. Скороход

Южный федеральный университет, Ростов-на-Дону

Аннотация: Рассматриваются направления современных исследований в области адаптивной коррекции ошибок, которые могут быть применены при передаче изображений в формате JPEG 2000 по зашумленному каналу. Адаптивная коррекция на уровне сети позволяет поддерживать заданный процент доставки пакетов. Неравномерная защита на уровне приложения предназначена для применения в широкоэмитательных трансляциях и позволяет потребителю получать изображение различного качества в зависимости от состояния сети. Адаптивная равномерная защита на уровне приложения ориентирована на передачу типа «точка – точка» и направлена на получение приемником изображения максимального качества. Рассмотренные средства сетевого уровня могут комбинироваться со средствами уровня приложения.

Ключевые слова: адаптация, помехозащищенное кодирование, упреждающая коррекция ошибок, зашумленный канал, JPEG 2000.

Введение

Одним из основных классов задач, решаемых при помощи мобильных устройств, является фото и видеосъемка, сопряженная с передачей изображений или видео потока удаленному приемнику по беспроводному каналу связи в реальном масштабе времени. Использование беспроводного канала имеет несколько существенных ограничений. Во-первых, ограниченная пропускная способность канала предъявляет значительные требования к объему кодированного потока. Во-вторых, канал подвержен риску искажения данных, что может привести к невозможности их декодирования принимающей стороной. Для защиты от искажений передаваемых данных применяются методы упреждающей коррекции ошибок (FEC), которые позволяют обнаружить и исправить ошибки за счет добавления избыточности в кодированный поток. Чем выше избыточность, тем лучше защищены данные, но тем больший объем кодированного потока уходит на собственно избыточность, в результате чего уменьшается та часть потока, которая кодирует изображение, с неизбежным ухудшением его

качества. Поскольку при эксплуатации мобильных устройств параметры внешней среды и степень зашумленности канала заранее неизвестны и могут изменяться во времени, возникает проблема адаптации средств FEC к текущим характеристикам канала по ходу трансляции.

Существующие подходы к исследованиям адаптивной упреждающей коррекции ошибок (AFEC) можно разделить на два направления. Первое использует схемы AFEC на уровне сети и сетевых пакетов безотносительно назначения содержащихся в них данных [1,2]. Второе предполагает использование AFEC на уровне приложений, т.е. с учетом форматов передаваемых данных [3,4]. Целью данной работы является обзор подходов к реализации AFEC, которые могут быть использованы при передаче изображений в формате JPEG 2000.

AFEC на уровне сети

Исследования AFEC на уровне сети предполагают разработку различных дополнений к существующим стандартам беспроводной связи (таким как IEEE 802.15.4 и т.п.), добавляющих к ним возможность использования средств FEC, способных применять семейство кодов Рида-Соломона (RS-коды) с различной длиной кодового слова [5, 6].

RS-коды $RS(m, n)$ предназначены для защиты n байт данных. Для этого создается кодовое слово длиной m байт, включающее в себя n защищенных байт данных, позволяющее скорректировать искажения битов в не более чем $(m-n)/2$ байтах этого кодового слова. Чем выше значение m/n , тем выше корректирующая способность кода, но тем больше времени требуется на его кодирование и декодирование. Кроме того, отношение m/n определяет соотношение объемов передаваемых по сети избыточных кодов четности и собственно полезных данных.

Типовая схема AFEC сетевого уровня описана в [7]. К структуре стандартного сетевого пакета, изображенного на рис. 1а, добавляется два

поля: используемый в пакете RS-код и избыточные коды четности. Используемый RS-код не может быть слишком трудоемким, поскольку у пакета есть ограниченное время, в течение которого от приемника должен поступить сигнал с подтверждением о его приеме. Приемник должен успеть декодировать все кодовые слова пакета и отправить сигнал-подтверждение.

Структура пакета с использованием средств FEC изображена на рис. 1б. Поля кодов четности и RS-кода расположены в конце пакета после защищаемых данных. Это позволяет легко перейти к использованию другого RS-кода, для чего достаточно удалить из пакета содержимое полей кодов четности, RS-кода, контрольной суммы и заменить их на новые.

Заголовок пакета	Данные пакета	Контрольная сумма
------------------	---------------	-------------------

а

Заголовок пакета	Данные пакета	Коды четности	RS-код	Контрольная сумма
------------------	---------------	---------------	--------	-------------------

б

Рис. 1. – Структура сетевых пакетов

Поле RS-кода защищается и кодируется фиксированным, известным и приемнику и передатчику способом. Это поле декодируется в первую очередь, после чего приемник узнает какой RS-код был использован передатчиком при кодировании пакета. Далее приемник выполняет декодирование пакета и восстановление поврежденных байт. Если заголовок пакета не может быть восстановлен, такой пакет отбрасывается.

Для адаптивной схемы AFEC выбирается семейство RS-кодов с приемлемым временем декодирования. Переключение между RS-кодами выполняется в соответствии с моделью Маркова, изображенной на рис. 2. $S(i)$ обозначены состояния, соответствующие используемым RS-кодам. $S(0)$

соответствует самому слабому и менее трудоемкому RS-коду с минимальной избыточностью. $S(M)$ – самому сильному, наиболее трудоемкому RS-коду с максимальной избыточностью.

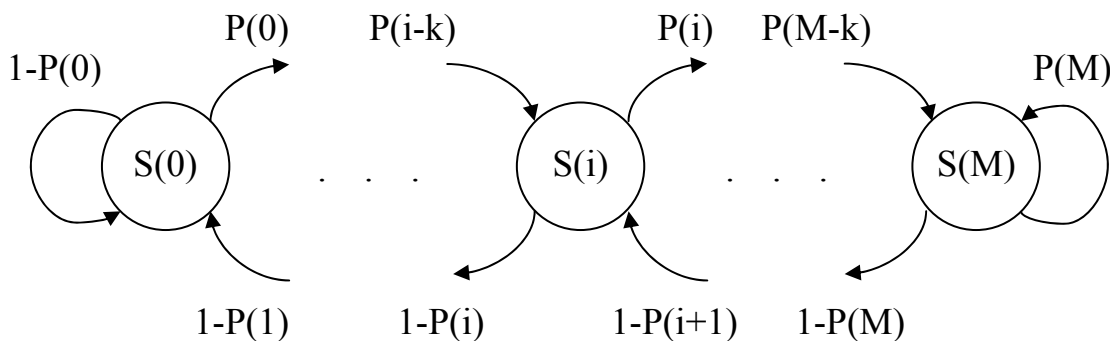


Рис. 2. – Модель Маркова для адаптивной схемы

$P(i)$ задает вероятность перехода из состояния i в состояние $i+k$, где k – шаг перехода к более сильному RS-коду. $P(M)$ – вероятность оставаться в состоянии $S(M)$. Вероятность перехода из состояния $S(i)$ к состоянию $S(i-1)$ равна $1-P(i)$.

В качестве меры состояния сети в подобных моделях используется показатель пакетной ошибки PER, который определяется как отношение количества потерянных пакетов к общему количеству переданных пакетов за некоторый промежуток времени. Задача модели – поддержание PER не ниже заданного значения, которое определяется требованиями приложения, использующего передаваемые по сети данные.

Работа модели начинается из состояния $S(0)$ с самым слабым RS-кодом. Выполняется анализ состояния сети в скользящем временном окне длиной в L пакетов. Если состояние сети стабильное и PER не выходит за установленные пределы, модель остается в том же самом состоянии или переходит к состоянию с более слабым RS-кодом. Если состояние сети ухудшается и PER увеличивается выше заданного уровня, происходит переход к состоянию с более сильными RS-кодами.

Достоинством данного подхода является возможность быстрого реагирования на изменение состояния сети и поддержания заданного значения PER в реальном масштабе времени [6]. Недостатком является ограниченный диапазон применимых RS-кодов, что связано с ограничениями сети на время подтверждения доставки пакета [7]. Чем выше скорость сети, тем жестче это требование, тем меньший диапазон RS-кодов доступен к применению. Недостатком также является необходимость подтверждения доставки пакета, которое поддерживается не во всех видах сетей [8].

Неравномерная защита на уровне приложения

Исследования, проводимые в данном направлении, предполагают использование контекстно-зависимого способа защиты передаваемого по сети кодового потока, опираясь на уровень вклада, который вносят различные его фрагменты в изображение, декодируемое приемником [9].

Кодированный поток PEG 2000, обобщенная структура которого изображена на рис. 3а, состоит из нескольких слоев, каждый из которых вносит в изображение свой отдельный вклад [10].

Заголовок	Данные слоя 1	Данные слоя 2	...	Данные слоя N
-----------	---------------	---------------	-----	---------------

а

Заголовок	R1	R2	..	RN	Данные слоя 1	Данные слоя 2	..	Данные слоя N
-----------	----	----	----	----	---------------	---------------	----	---------------

б

Рис. 3. – Многослойный кодированный поток JPEG 2000

Слой 1 кодирует наиболее крупные и важные детали изображения. Его потеря приведет к максимальной потере качества изображения. Слой 2 содержит более мелкие детали и вносит в изображение меньший вклад. Соответственно потеря слоя 2 повлечет и меньшую потерю качества.

Каждый последующий слой добавляет все более мелкие детали и менее важен для декодируемого изображения.

В кодированном потоке данные слоев идут последовательно друг за другом в порядке убывания важности. Это позволяет в любой момент урезать его, удалив из него часть наименее важных слоев, снизив качество изображения, но не потеряв его полностью.

На этом свойстве кодового потока и основана технология неравномерной защиты. На рис. 3б изображена обобщенная структура кодового потока JPWL, применяющаяся для неравномерной защиты данных JPEG 2000. Для защиты слоя 1 используются наиболее трудоемкие RS-коды R1 с максимальной длиной кодового слова. RS-коды R2 защищают слой 2 и имеют меньшую трудоемкость и длину кодового слова. Самыми слабыми и короткими являются RS-коды RN, которые защищают последний слой.

Результаты декодирования изображения зависят от состояния сети [3]. Если сеть в хорошем состоянии, все слои декодируются успешно, приемник получает изображение максимального качества. Если состояние сети ухудшилось, приемник не может декодировать часть менее важных слоев, и качество изображения уменьшается пропорционально интенсивности помех.

На рис. 4 приведен пример изображения максимального и сниженного качества в результате потери части слоев [9].



Рис. 4. – Пример декодированных изображений

Преимуществами данного подхода является простота реализации и ненужность обратной связи между приемником и передатчиком, благодаря чему неравномерная защита применяется в системах широковещательной трансляции [3]. Основной недостаток – необходимость тщательного изучения характеристик потенциальных каналов передачи данных и подбора семейства RS-кодов, обеспечивающих достаточную защиту слоев при минимальной избыточности кодированного потока [10]. Данный метод также не подходит для передачи типа «точка – точка», когда приемник должен получать изображение максимального качества.

Адаптивная равномерная защита на уровне приложения

Данный подход разрабатывается авторами и предназначен для передачи изображения типа «точка – точка», например между оператором и удаленным мобильным устройством. В таких условиях важным является получение приемником изображения максимального качества при минимизации избыточности применяемого RS-кода.

Используется возможность JPEG 2000 разбивать исходное изображение на тайлы с последующим кодированием каждого тайла независимо от остальных [11]. Обобщенная структура кодированного потока JPEG 2000 с использованием тайлов приведена на рис. 5а.

Основной заголовок	Кодовый поток тайла 1	Кодовый поток тайла 2	...	Кодовый поток тайла М
--------------------	-----------------------	-----------------------	-----	-----------------------

а

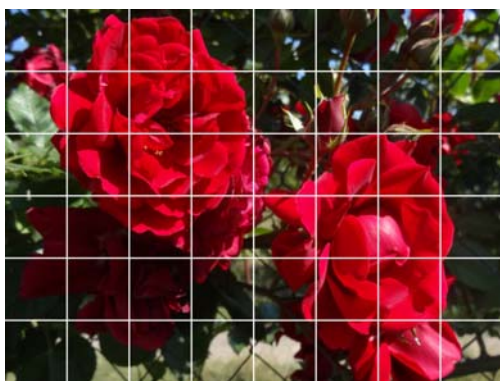
Заголовок тайла	R1	R2	Данные тайла	Конец тайла
-----------------	----	----	--------------	-------------

б

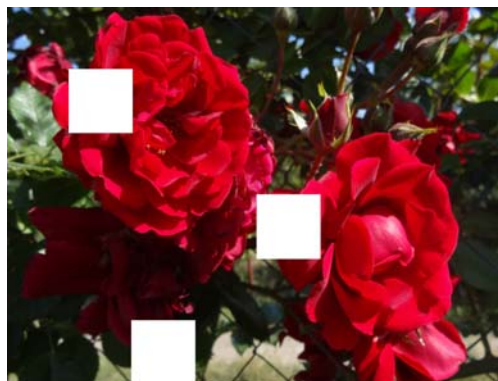
Рис. 5. – Многотайловый кодированный поток JPEG 2000 и JPWL

Заголовок и данные тайла защищаются соответственно RS-кодами R1 и R2, в соответствии с рис. 5б. Код R1 фиксирован для заголовка тайла и изменяться не может. Зато код R2, которым защищены данные, можно выбирать в диапазоне от наиболее слабого RS(37,32), до наиболее сильного RS(128,32), что дает широкий простор для адаптации R2 к текущим условиям канала передачи данных [12].

Под тайлом понимается прямоугольная область определенного размера. На рис. 6а изображение размером 1024x768 пиксель разбито на 48 тайлов размером 128x128. Независимое кодирование тайлов позволяет декодировать их также независимо. При невозможности восстановления заголовка или данных тайла ввиду большего количества ошибок, нежели могут исправить коды R1 и R2, тайл теряется, а его область заполняется определенным цветом [12]. На рис. 6б приведено частично восстановленное изображение, в котором потеряно три тайла.



а



б

Рис. 6. – Разбиение изображения на тайлы

В качестве меры состояния сети предлагается использовать показатель ошибки тайлов TER как отношение количества потерянных тайлов к общему количеству тайлов по результатам декодирования L принятых приемником изображений [11, 12]. Для адаптации RS-кодов R2 строится модель Маркова, аналогичная изображенной на рис. 2. В соответствии с этой моделью

происходит переключение передатчика между RS-кодами с различной корректирующей способностью для поддержания заданного уровня TER при минимальной избыточности кодированного потока.

Достоинствами этого подхода являются: возможность доставки приемнику изображения максимального закодированного качества; широкий набор применяемых RS-кодов, недоступный для средств AFEC сетевого уровня. Недостаток – потребность в обратной связи, через которую приемник должен сообщать передатчику результаты декодирования тайлов.

Заключение

Рассмотренные подходы могут комбинироваться друг с другом, что должно усилить эффект от их применения. AFEC сетевого уровня совместно с неравномерной защитой должен способствовать потере меньшего количества слоев. Это повысит качество изображения во всех приемниках широковещательной трансляции. Совместное применение AFEC сетевого уровня и адаптивной равномерной защиты будет способствовать достижению меньших значений TER, т.е. потере меньшего количества тайлов, при том же уровне избыточности кодированного потока.

Литература

1. Marcotte R. J., Olson E. Adaptive Forward Error Correction with Adjustable-Latency QoS for Robotic Networks // IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA) (16-21 May 2016). Stockholm, Sweden: IEEE, 2016. DOI: 10.1109/ICRA.2016.7487739.

2. Giambene G., Luong D. K., Tomaso De Cola, Le Van A. Analysis of a Packet-Level Block Coding Approach for Terrestrial-Satellite Mobile Systems // IEEE Transactions on Vehicular Technology. 2019. Volume: 68, Issue: 8, DOI:10.1109/TVT.2019.2925187.

3. Colda R., Perrine C, Cances J. P., Vauzelle R., Palade T. Content-Based Image Unequal Error Protection Strategies for an Open Loop MIMO System// International Journal of Communications, Network and System Sciences. 2012, 05. DOI:10.4236/ijcns.2012.51009.

4. Skorokhod S. V. The experimental studies of the jpwl tools ability to correct burst errors in a noisy channel when transmitting video in a jpeg 2000 format // Journal of Theoretical and Applied Information Technology, 10th November, 2015. Vol. 81, № 1, p.34-42, jatit.org/volumes/Vol81No1/5Vol81No1.pdf.

5. Johanson M. Adaptive forward error correction for real-time internet video// Proc. of the 13th Packet Video Workshop. 2003. URL:polytech.univ-nantes.fr/pv2003/papers/pv/papers/cr1001.pdf.

6. Dyck J., Gutwin C., Makaroff D. Adaptive forward error correction for real-time groupware// Proceedings of the 17th ACM international conference on Supporting group work. Florida, USA: Sanibel Island. 2012. DOI: 10.1145/2389176.2389196.

7. Yu K., Barac F., Gidlund M., Akerberg J. Adaptive Forward Error Correction for Best Effort Wireless Sensor Networks // IEEE International Conference on Communications (ICC). Ottawa, Canada: IEEE, 2012. DOI: 10.1109/ICC.2012.6364798.

8. Ali F. A., Simoens P., Van de Meerssche W., Dhoedt B. Bandwidth efficient adaptive forward error correction mechanism with feedback channel// Journal Of Communications And Networks. 2014. v. 16(3). DOI:10.1109/JCN.2014.000053.

9. Mhamdi Marwa, Amin, Zribi, Perrine Clency, Pousset Yannis. Efficient Multiple Concatenated Codes with Turbo-Like Decoding for UEP Wireless Transmission of Scalable JPEG 2000 Images // IEEE Access. 2019. PP. 1-1. DOI:10.1109/ACCESS.2018.2886212.

10. Baruffa G., Fabrizio F. Adaptive error protection coding for wireless transmission of motion JPEG 2000 video// EURASIP Journal on Image and Video Processing. 2016. DOI: 10.1186/s13640-016-0111-z.

11. Скороход С. В., Дроздов С. Н., Скороход Д. С. Исследование зависимости качества декодированного изображения в формате JPWL от параметров JPWL и частоты пакетных ошибок в зашумленном канале // Инженерный вестник Дона, 2017, №4. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2017/4453.

12. Скороход С. В., Скороход Д. С. Оценка интенсивности зашумления в канале при передаче изображений в формате JPWL на основе экспериментальной модели // Инженерный вестник Дона, 2018, №4. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2018/5305.

References

1. Marcotte R. J., Olson E. IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA) (16-21 May 2016). Stockholm, Sweden: IEEE, 2016. DOI: 10.1109/ICRA.2016.7487739.

2. Giambene G., Luong D. K., Tomaso De Cola, Le Van A. IEEE Transactions on Vehicular Technology. 2019. Volume: 68, Issue: 8, DOI:10.1109/TVT.2019.2925187.

3. Colda R., Perrine C, Cances J. P., Vauzelle R., Palade T. International Journal of Communications, Network and System Sciences. 2012, 05. DOI:10.4236/ijcns.2012.51009.

4. Skorokhod S. V. Journal of Theoretical and Applied Information TechNology, 10th November, 2015. Vol. 81, № 1, p.34-42, jatit.org/volumes/Vol81No1/ 5Vol81No1.pdf.

5. Johanson M. Proc. of the 13th Packet Video Workshop. 2003. URL:polytech.univ-nantes.fr/pv2003/papers/pv/papers/cr1001.pdf.



6. Dyck J., Gutwin C., Makaroff D. Proceedings of the 17th ACM international conference on Supporting group work. Florida, USA: Sanibel Island. 2012. DOI:10.1145/2389176.2389196.
7. Yu K., Barac F., Gidlund M., Akerberg J. IEEE International Conference on Communications (ICC). Ottawa, Canada: IEEE, 2012. DOI: 10.1109/ICC.2012.6364798.
8. Ali F. A., Simoens P., Van de Meerssche W., Dhoedt B. Journal of Communications and Networks. 2014. v. 16(3). DOI:10.1109/JCN.2014.000053.
9. Mhamdi Marwa, Amin, Zribi, Perrine Clency, Pousset Yannis. IEEE Access. 2019. PP. 1-1. DOI:10.1109/ACCESS.2018.2886212.
10. Baruffa G., Fabrizio F. EURASIP Journal on Image and Video Processing. 2016. DOI: 10.1186/s13640-016-0111-z.
11. Skorohod S. V., Drozdov S. N., Skorohod D. S. Inzhenernyj vestnik Dona, 2017, №4. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2017/4453.
12. Skorohod S. V., Skorohod D. S. Inzhenernyj vestnik Dona, 2018, №4. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2018/5305.