



بررسی مکانیزم های کنترل خطا برای ارتباطات چندرسانه ای جهت استفاده در

شبکه های حسگر چندرسانه ای بی سیم

بتول سروی قمصری، کیارش میزانیان و مهدی آقا صرام



۱- دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی فناوری اطلاعات

گرایش شبکه های کامپیوتری، دانشگاه یزد

۲- استادیار گروه کامپیوتر دانشگاه یزد

۳- استادیار گروه کامپیوتر دانشگاه یزد

sarvi@stu.yazd.ac.ir

نام ارائه دهنده: بتول سروی قمصری

خلاصه

امروزه علاقه مندی به ارتباطات چندرسانه ای در شبکه های حسگر بی سیم، رو به افزایش است. پهنای باند محدود در این شبکه ها و انتقال داده های ناهمگن در اندازه بسیار زیاد، در تعارض با یکدیگر قرار دارند. برای رفع این تعارض از فشرده سازی استفاده می شود. وجود کانال های بی سیم، داده های فشرده شده را به شدت نسبت به خطا آسیب پذیر کرده و کنترل خطا یکی از چالش های مهم در ارتباطات چندرسانه ای بلادرنگ به شمار می رود. از این رو، در این مقاله راه کارهای موجود جهت کنترل خطا برای ارتباطات چندرسانه ای در شبکه های گوناگون مورد بحث و بررسی قرار گرفته است. با مقایسه روش های موجود، چالش های روش های کنترل خطا برای شبکه های حسگر چندرسانه ای بی سیم شناسایی و بهترین ویژگی های روش های کنونی برای بهبود کارایی کنترل خطا برای این شبکه ها متمایز می شود. استفاده از طراحی بین لایه ای و تعیین پویای بسته ها و بیت های افزونه کمک شایانی به کارآمدتر کردن روش کنترل خطا می کند.

کلمات کلیدی: شبکه های حسگر چندرسانه ای بی سیم، کنترل خطا، بین لایه ای، ARQ، FEC، ارتباطات چندرسانه ای.

۱. مقدمه

در سال های اخیر، برنامه های کاربردی که بر روی شبکه های حسگر بی سیم اجرا می شوند، بسیار مورد توجه قرار گرفته اند. از مهم ترین این برنامه ها می توان به برنامه های موجود در زمینه های ردیابی بلادرنگ اشیاء، سامانه های نظارتی و سامانه های کنترل ترافیکی اشاره کرد [۱-۳]. این برنامه ها

اطلاعات چندرسانه‌ای را در قالب‌های متفاوت جمع‌آوری می‌کنند. داده‌های چندرسانه‌ای در شبکه‌های حسگر باید در یک سطح قابل‌قبولی از کیفیت (QoS^1) تحویل داده شوند. برای فراهم کردن کیفیت خدمات مورد انتظار باید منابع محدود گره‌ها و محدودیت‌های شبکه همانند پهنای باند، انرژی و تأخیر را نیز در نظر گرفت [4]. به همین علت بهینه کردن مصرف انرژی باید با فراهم کردن پارامترهای QoS همراه شود. پارامترهایی همچون تأخیر انتها به انتها²، نرخ خطا³، تحویل سریع‌تر محتواهای اولویت‌دار، اعوجاج⁴ و ... که در این شبکه‌ها بسیار مهم هستند. برای کاهش تأخیر انتها به انتها، لازم که تأخیر را در همه لایه‌ها کاهش دهیم. لایه‌های شبکه و MAC مهم‌ترین نقش را در کمینه کردن تأخیر انتها به انتها ایفا می‌کنند [4].

۲.۱. اهمیت کنترل خطا

حجم بسیار زیاد داده‌های چندرسانه‌ای با پهنای باند محدود در شبکه‌های حسگر بی‌سیم و کانال‌های بی‌سیم با نرخ انتقال کم در تعارض است. به همین دلیل با استفاده از نرخ بالای فشرده‌سازی در برنامه‌های کاربردی می‌توان حجم داده‌ها را متناسب با کانال کاهش داد. این کدگذاری، داده‌ها را نسبت به خطا به شدت آسیب‌پذیر کرده و قابلیت اطمینان در تحویل داده‌ها را با چالش مواجه می‌کند. علاوه‌براین، مصرف انرژی در تحویل داده‌های چندرسانه‌ای بسیار زیاد است، این در حالی است که حسگرها با محدودیت منابع انرژی مواجه هستند. با توجه به این ویژگی‌ها باید از روش‌های کنترل خطا استفاده کرد تا بتوان داده‌های فشرده‌شده را بدون خطا به مقصد تحویل داد؛ بنابراین مصرف بهینه انرژی و قابلیت اطمینان در تحویل داده‌ها برای روش‌های کنترل خطا، از چالش‌های ارتباطات چندرسانه‌ای در شبکه‌های حسگر بی‌سیم محسوب می‌شوند. با وجود کارهای تحقیقاتی خوبی که بر روی بررسی روش‌های کنترل خطای موجود بر روی شبکه‌های حسگر بی‌سیم انجام شده که مهم‌ترین آن‌ها را می‌توان در [5] و [6] یافت، هیچ‌کدام از آن‌ها را نمی‌توان به‌طور مستقیم برای شبکه‌های حسگر چندرسانه‌ای بی‌سیم⁵ (WMSN) بکار گرفت؛ بنابراین کنترل خطا همچنان یک چالش محسوب می‌شود.

۳.۱. راه‌حل‌های اصلی کنترل خطا

مکانیزم‌های کنترل خطای موجود به شش دسته زیر دسته‌بندی می‌شوند.

- ARQ: Automatic Repeat Request
- FEC: Forward Error Correction
- EC: Erasure Coding
- HARQ: Hybrid ARQ
- Link-Layer hybrid FEC/ARQ
- Cross-Layer hybrid error control schemes

الگوی ARQ می‌تواند در لایه کاربرد و یا لایه لینک مورد استفاده قرار گیرد. عیب اصلی این روش تأخیر متغیری است که در شبکه ایجاد می‌کند. این در حالی است که در روش FEC در لایه لینک تأخیر شبکه ثابت است اما این روش پهنای باند و انرژی زیادی را مصرف می‌کند. الگوی EC (FEC در سطح بسته) h بسته افزونه را به n بسته اصلی در لایه کاربرد اضافه می‌کند تا بتواند بسته‌های گم‌شده را بازیابی کند. روش HARQ هنگام باز ارسال بسته، بر اساس شرایط شبکه تصمیم می‌گیرد که ارسال کل بسته همراه با بیت‌های افزونه بهتر است یا باز ارسال⁶ بیت‌های افزونه کفایت می‌کند. ترکیب بهترین ویژگی‌های ARQ و روش‌های FEC، روش‌های کنترل خطای ترکیبی مناسبی را برای شبکه‌های حسگر و ارتباطات چندرسانه‌ای بی‌سیم به وجود می‌آورد؛ بنابراین با استفاده از اطلاعات بین لایه‌ای از طریق پشته پروتکلی، می‌توان کیفیت تصاویر ارسالی و استفاده از منابع را بهبود بخشید و کارایی سیستم را افزایش داد و انرژی را در گره‌ها ذخیره کرد.

در ادامه این مقاله مهم‌ترین روش‌های کنترل خطای موجود بر روی شبکه‌های چندرسانه‌ای، شبکه‌های چندرسانه‌ای بی‌سیم و شبکه‌های حسگر بی‌سیم بررسی شده است. روش‌های کنترل خطای مورد مطالعه، تقارن بسیار زیادی با روش‌های کنترل خطا در شبکه‌های حسگر چندرسانه‌ای بی‌سیم

¹ Quality of Service

² End-to-end delay

³ Error rate

⁴ Distortion

⁵ Wireless Multimedia Sensor Network

⁶ Retransmission

دارند و کمک شایانی برای بهبود روش های کنترل خطا در WMSN ارائه می کنند. در انتها پژوهش های اندک انجام شده برای کنترل خطا در شبکه های حسگر چندرسانه ای بی سیم بررسی شده است و چشم اندازی برای طراحی روش های کنترل خطای جدید را به پژوهشگران ارائه می کند.

۲. کنترل خطا در شبکه های چندرسانه ای^۱ (MN)

جریان های چندرسانه ای بخش کلیدی شبکه های WMSN هستند. به همین دلیل، با اعمال شیوه های خاص انتقال چندرسانه ای، می تواند جریان های چندرسانه ای را نسبت به خطا مرتجع^۲ (ارتجاعی) کرد. برای تحقق این هدف، همیشه تمرکز بر روی انواع کدگذاری های ویدئویی است و اکثریت الگوها برای مرتجع کردن جریان به خطاها بر روی بهینه کردن کدگذاری تمرکز می کنند. در اینجا به بررسی دو دسته بندی مهم این روش ها می پردازیم:

۱.۲. روش های مخفی کردن خطاها

آقای Wang و همکارانش در [۷] مروری بر روی شیوه های موجود برای مخفی کردن خطاها انجام داده اند. شیوه های موجود بر اساس نقشی که در کدگذار^۳ و کدگشا^۴ ایفا می کنند به سه دسته تقسیم می شوند. دسته اول شیوه هایی هستند که با اضافه کردن افزونگی^۵ در گره مبدأ جریان بی تی کد شده کد شده را نسبت به خطا مرتجع و خطاها را مخفی می کنند. دسته دوم با پس پردازش^۶ در کدگشا، خطاهای موجود را بر اساس ویژگی های تصویر و سیگنال های ویدئویی پوشش می دهند و آن ها را باز یابی می کنند. دسته سوم روش هایی هستند که به تعامل بین گره مبدأ و مقصد وابسته هستند و بر اساس آن خطاها را مخفی می کنند.

۲.۲. کدگذاری ارتجاعی خطا

روش های کدگذاری ارتجاعی خطا، وظیفه قوی کردن جریان های ویدئویی را بر روی کانال های نویزدار بر عهده دارند. به گونه ای که خطا کمتر اتفاق بیافتد. این روش ها زمانی مفید خواهند بود که محتواهای چندرسانه ای، مستقل از شبکه انتقالی تولید شود و/یا شرایط شبکه به صورت پویا تغییر کند. در [۸] چندین ابزار کدگذاری ارتجاعی خطا بررسی شده است.

۳. کنترل خطا در شبکه های چندرسانه ای بی سیم

صرف نظر از محدودیت منابع، WMSN ها نقاط مشترک زیادی با شبکه های چندرسانه ای بی سیم (WMN) دارند. در حقیقت، هر دوی آن ها داده های چندرسانه ای خود را بر روی کانال بی سیم غیر قابل اطمینان ارسال می کنند. لذا باعث وقوع خطای بی تی و از دست رفتن بسته ها می شوند؛ بنابراین هر دوی آن ها باید مکانیزم های کنترل خطای خوبی را پیاده سازی کنند تا کیفیت مورد نظر داده های چندرسانه ای تأمین شود. در ادامه چند روش در شبکه های چندرسانه ای بی سیم را بررسی می کنیم که با هدف ما ارتباط نزدیکی دارند.

۱.۳. کنترل خطا با تأخیر محدود^۷

آقای Argyriou و همکارانش در [۹] یک مکانیزم کنترل خطا با تأخیر محدود برای جریان های چندرسانه ای قوی و تأخیر کم پیشنهاد می دهند به گونه ای که برای برقراری ارتباطات در ترکیبی از شبکه های محلی 802.11 و اینترنت کاربرد دارد. در این پژوهش نرخ گم شدن بسته ها و تأخیر آنها به انتها تابعی از بیشترین تعداد باز ارسال و مکانیزم کنترل خطای FEC در نظر می گیرد تا بتواند نرخ گم شدن بسته ها را به وسیله تطبیق سطوح افزونگی در

¹ Multimedia Network

² Resilient

³ Encoder

⁴ Decoder

⁵ Redundancy

⁶ Post processing

⁷ Delay-constraint

لایه کاربرد و لایه لینک بی سیم کمینه کند. علاوه بر این، در [۱۰] برای ارتباطات ویدئویی بلادرنگ بر روی کانال‌های بی سیم، یک روش کنترل خطا با تأخیر محدود در سطح بسته‌ها ارائه شده تا قابلیت اطمینان و تأخیر محدود را برای آن‌ها فراهم کند. الگوی پیشنهادی آن‌ها از روش‌های مختلف کدگذاری کانال بهره می‌برد و کاهش نوسانات بهره‌وری^۱ از کانال و دریافت به موقع بسته‌های ویدئویی را به دنبال دارد.

۲.۳. FEC با افزونگی پویا

آقای Li و همکارانش در [۱۱] یک مکانیزم پیشرفته FEC تطبیقی را معرفی می‌کنند که برای تحویل جریان‌های ویدئویی بر روی شبکه‌های بی سیم در نظر گرفته شده است. این الگوریتم برای تعیین تعداد افزونگی‌های FEC، وضعیت کانال و بار ترافیکی شبکه را در نقاط دسترسی^۲ بررسی می‌کند. برای اندازه‌گیری بار ترافیکی شبکه از طول صف و برای وضعیت کانال زمان انتقال بسته در کانال بی سیم را رصد می‌کند. نتایج شبیه‌سازی نشان می‌دهد که افزایش افزونگی به صورت پویا منجر به بهبود کارایی شبکه می‌شود. نقطه ضعف این الگوریتم این است که مقادیر بهینه آستانه‌های میزان طول صف و زمان انتقال دقیق نیست و همچنین میزان گم شدن بسته‌ها را در کانال سیمی در نظر نمی‌گیرد.

آقای Raya در پایان‌نامه‌اش [۱۲] پس از بررسی روش‌های FEC تطبیقی موجود، مقایسه‌ای را بر روی سه مکانیزم پیشنهادی خود انجام می‌دهند. آن‌ها FEC تطبیقی را به صورت مطلق (On-Off)، نسبی و نسبی-انتگرالی در نظر گرفته و کارایی شبکه را بر روی هر سه نوع الگوریتم محاسبه کرده‌اند. نتایج شبیه‌سازی آن‌ها نشان می‌دهد که روش‌های FEC تطبیقی نسبی و نسبی-انتگرالی عملکرد بهتری دارند و تعداد بسته‌های ازدست‌رفته در آن‌ها کمتر از AFEC با شرایط مطلق است. لذا آن‌ها FEC تطبیقی پیشنهادی خود را با شرایط نسبی-انتگرالی به عنوان گزینه‌ای برای بهبود کارایی شبکه و پیشرفتی در FEC معرفی کرده‌اند. لازم به ذکر است که آن‌ها الگوریتم پیشنهادی خود را برای شبکه‌های سیمی در نظر گرفته است و به دلیل نگاه متفاوت در اینجا ذکر شده است.

۳.۳. ترکیبی FEC/ARQ

آقای Tsai و همکارانش در [۱۳] الگوی HARQ را برای جریان‌های ویدئویی در شبکه‌های بی سیم بهبود بخشیده‌اند و آن را AHECM می‌نامند. الگوریتم AHECM، تأخیر باز ارسال بسته و متوسط تأخیر انتها به انتها را محدود می‌کند. علاوه بر آن، افزونگی FEC را بر اساس نرخ گم شدن بسته‌ها در شبکه تعیین و از بروز ازدحام جلوگیری می‌کند. این در حالی است که هنگامی که تأخیر انتها به انتها از پارامترهای مهم تلقی می‌شود، برای باز ارسال، فقط بسته‌های افزونه را ارسال می‌کند. برای حفظ امنیت بیشتر فریم‌های اولویت‌دار از حفاظت خطای نابرابر^۴ (UEP) استفاده کرده و به بسته‌های اولویت‌دار، افزونگی بیشتری را تخصیص می‌دهد. الگوریتم AHECM به وسیله پارامترهای نرخ گم شدن بسته^۵، کارایی بازیابی خطا^۶ (ERE) و PSNR با دیگر الگوریتم‌های کنترل خطا بررسی شده و نتایج شبیه‌سازی نشان می‌دهد که کیفیت بهتری را برای جریان‌های ویدئویی در شبکه‌های بی سیم ارائه می‌دهد. نقطه ضعف این روش این است که برای شبکه‌های حسگر بررسی نشده است.

۴. کنترل خطا در شبکه‌های حسگر بی سیم (WSN)

با وجود اینکه WMSN شاخه‌ای از WSN محسوب می‌شود اما تفاوت‌های برجسته‌ای دارند. اولین تفاوت، کنترل کردن داده‌های ناهمگن است. بر همین اساس این شبکه‌ها باید سرویس‌های متفاوتی را فراهم کنند. پردازش‌های متفاوت برای هر جریان داده‌ای و تمایز سرویس‌ها، می‌تواند در همه لایه‌های پشته پروتکلی بر اساس پارامترهای متفاوت مثل اولویت برنامه کاربردی و میزان زمان باقی‌مانده برای هر بسته فراهم شود. دومین تفاوت این است که این شبکه‌ها به خطا بسیار حساس هستند؛ زیرا وجود خطا، منجر به از دست رفتن بسته‌ها می‌شود. پیامد این اثر باعث افزایش تفاضل تأخیرها و اعوجاج در داده‌های چندرسانه‌ای شده و QoS را کاهش می‌دهد. در صورتی که برخی از برنامه‌های کاربردی به تحویل عاری از هرگونه خطا نیاز دارند. تفاوت سوم، پهنای باند بالای مورد نیاز این شبکه‌ها است که با پهنای باند موجود در شبکه‌های حسگر چندرسانه‌ای بی سیم در تعارض است. به همین دلیل،

¹ Throughput

² Access points

³ Adaptive Hybrid Error Control Model

⁴ Unequal Error Protection

⁵ Packet loss rate

⁶ Error Recovery Efficiency

روش های کدگذاری با پیچیدگی کم در WMSN ها از اهمیت ویژه ای برخوردار هستند. ایده آل ترین روش های کدگذاری، علاوه بر حفظ کارایی فشرده سازی و پیچیدگی کم محاسباتی و پیاده سازی، حالت ارتجاعی خود را نسبت به خطا نیز حفظ کنند. اهمیت استفاده از روش های کدگذاری در WMSN ها، ارتباط تنگاتنگی را بین قابلیت اطمینان و الگوریتم های کدگذاری به وجود می آورد؛ بنابراین پروتکل های بلادرنگ و قابل اطمینان در WSN برای WMSN ها مناسب نیستند، زیرا در WSN ها از فشرده سازی استفاده نمی شود [۱۴]. حساسیت بالای داده های چندرسانه ای به تأخیر، چهارمین تفاوت WMSN ها نسبت به WSN ها است؛ بنابراین برای طراحی این شبکه ها باید بر روی تأخیر اضافه شده در هر سرآیند تمرکز کرد و به گونه ای آن ها را کاهش داد که سرعت تحویل هر بسته به مقصد افزایش یابد. نگرش بین لایه ای بهترین روش برای کاهش سربار محاسباتی و تأخیر در این نوع شبکه ها است [۴]، [۱۴] و [۱۵].

در [۵] بررسی بین لایه ای بر روی الگوهای کنترل خطا در WSN انجام شده که در آن پارامترهای لایه های مسیریابی، MAC و فیزیکی در نظر گرفته شده است. نتایج شبیه سازی در این مقاله نشان می دهد که الگوهای FEC در لایه لینک، در مقایسه با ARQ نسبت به خطاها حالت ارتجاعی بهتری دارند. همچنین در کدهای FEC با افزایش طول گام ها، هم انرژی مصرفی و هم تأخیر آنها به انتها کاهش می یابد؛ بنابراین FEC ها برای داده های حساس به تأخیر در WSN بهتر عمل می کنند. روند مشابهی نیز در [۶] پیاده سازی شده و نشان می دهد که در میان کدهای FEC، کدهای Reed-Solomon بهترین عملکرد را در WSN ها دارند.

در [۱۶] بهره وری و انرژی مورد نیاز در WSN با کانال 802.11، تابعی از نرخ خطای بی تی (BER) و تعداد سیمبل های کد RS در نظر گرفته شده است و نشان می دهد که اگر تعداد سیمبل های FEC به صورت پویا با شرایط کانال تغییر کند، کارایی WSN ها به طور محسوسی افزایش می یابد. در [۱۷] نیز روند مشابهی پیاده سازی شده است و تعداد سیمبل های FEC بر اساس انرژی انتقال و انرژی محاسبات تعیین می شود. شبیه سازی آن ها نشان می دهد که بیش از ۸۵٪ انرژی مصرفی به تعداد سیمبل های FEC وابسته است.

علاوه بر این، آقای Misra و همکارانش در [۱۸] مروری بر روی روش های کدگذاری موجود انجام داده اند که برای شبکه های حسگر بی سیم ارائه شده است. تمرکز اصلی آن ها بر روی روش هایی است که کدگذاری ویدئو را در حسگرهای ویدئویی انجام می دهند و یک انتقال بلادرنگ را برای ویدئوی گذشته تا ایستگاه پایه^۱ فراهم می کنند. در ابتدای این مقاله، آن ها نیازمندی های انتقال یک جریان چندرسانه ای را در هر لایه از پشته پروتکلی بررسی کرده و مکانیزم های پیشنهادی در هر لایه را معرفی می کنند. در انتها نیز نگرش بین لایه ای را در میان کدگذاری ویدئویی در WSN ها در نظر گرفته و مکانیزم های موجود را بررسی می کنند.

۵. کنترل خطا در شبکه های حسگر چندرسانه ای بی سیم

تاکنون مراجعی مورد بررسی قرار گرفت که بر روی مکانیزم های کنترل خطا در شبکه های چندرسانه ای، WMN و WSN مطالعه کرده اند ولی هیچ کدام از آن ها برای WMSN مناسب نیست زیرا ارتباطات چندرسانه ای بر روی منابع و QoS، محدودیت ها و ویژگی های خاصی را اعمال می کنند.

۱.۵. مکانیزم های کیفیت خدمات در WMSN

در [۴] مروری کلی بر روی روش های موجود برای تضمین QoS انجام شده است. در WMSN، هر لایه از پشته پروتکلی مسئول فراهم کردن برخی از پارامترهای QoS است؛ بنابراین این نیاز وجود دارد که الگوهای جدیدی برای هر لایه وجود داشته باشد. علاوه بر این همه لایه ها وابستگی زیادی به هم دارند و تضمین دقیق تر QoS از طریق تعادل بین لایه های مختلف امکان پذیر است. لذا در این مقاله، روش های لایه ای و بین لایه ای موجود در دسته های جداگانه بررسی شده اند و در نهایت مسائل تحقیقاتی باقی که وجود دارد را شناسایی و معرفی می کند. مطالعه این مقاله دید بسیار خوبی برای تضمین QoS در طراحی روش کنترل خطا در اختیار پژوهشگران قرار می دهد.

۲.۵. کنترل خطا با چند مسیری^۲

^۱ Base station

^۲ Multi-path

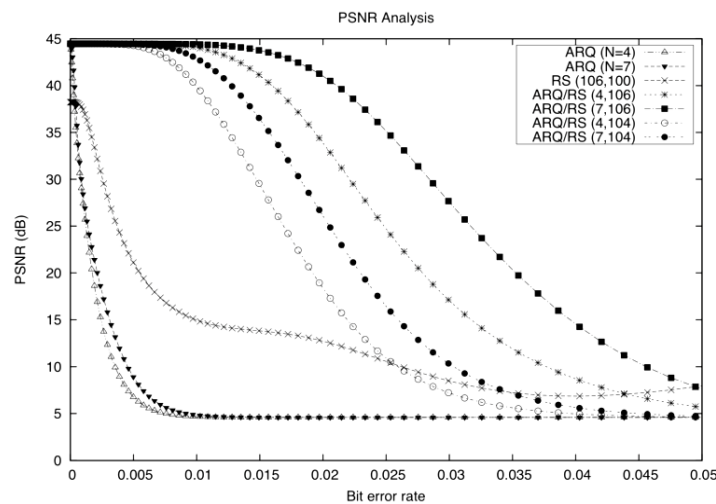
در [۱۹] شرایط اعوجاج انتقال بر روی داده چندرسانه‌ای را با اختلال در کانال و شکست فوری گره در WMSN در نظر می‌گیرد. این دو الگو به تصحیح داده‌های چندرسانه‌ای در شبکه کمک می‌کنند. این الگوریتم با استفاده از روش مخفی کردن خطا و الگوی تصحیح خطای RS و بهره‌گیری از چند مسیری، خطاهای انتقال چندرسانه‌ای را در یک بازه‌ی قابل‌قبولی قرار می‌دهد.

۳.۵. کنترل خطا با QoE^۱

یک مکانیزم FEC آگاه به QoE برای WMSN با معماری چندلایه‌ای در [۲۰] ارائه شده است. این الگوریتم برای تشخیص حمله در مناطق حساس به نفوذ طراحی شده است. در طراحی چندلایه‌ای هم حسگرهای عددی و هم حسگر ویدئویی وجود دارد و حسگرهای ویدئویی در زمان لازم و به‌وسیله حسگرهای عددی بیدار می‌شوند. به همین دلیل، کارایی قابل توجهی در مصرف انرژی دارد. هدف استفاده از این الگوریتم، کاهش افزونگی بسته‌ها است به صورتی که سطح کیفیت ویدئوی دریافتی با سطح میزان رضایت‌مندی کاربر یکسان باشد به صورتی که کارایی مناسبی در مصرف انرژی داشته باشد. نتایج شبیه‌سازی نیز نشان می‌دهد سطح کیفیت ویدئوی دریافتی با الگوریتم‌های FEC استاندارد برابری کرده در صورتی که انرژی کمتری را مصرف می‌کند. همچنین نشان می‌دهد که این روش بسیار مناسب برای سامانه‌های تشخیص نفوذ با منابع محدود است.

۴.۵. کارایی مکانیزم‌های موجود کنترل خطا در WMSN

آقای نادری و همکارانش در [۲۱]، محاسبه‌ای جامع بر روی مکانیزم‌های موجود کنترل خطا در WMSN انجام داده‌اند. این مقایسه میان مکانیزم‌های ARQ، FEC و ARQ/FEC ترکیبی در لایه لینک انجام شده است و آن‌ها را برحسب نرخ گم‌شدن، PSNR و کارایی انرژی با هم مقایسه می‌کنند. شکل ۱ بهبود کیفیت ویدئوی دریافتی را در روش ARQ/FEC ترکیبی نشان می‌دهد. نتایج شبیه‌سازی نشان می‌دهد که کد RS مصرف انرژی کمتری دارد ولی در نرخ خطای بی‌ی با نمی‌تواند کیفیت قابل‌قبولی را تأمین کند (PSNR کاهش می‌یابد) ولی در هر صورت از ARQ بهتر عمل می‌کند. مکانیزم ترکیبی ARQ/FEC نسبت به دو روش دیگر کیفیت بهتری دارد ولی باز هم در مصرف انرژی بهینه نیست.

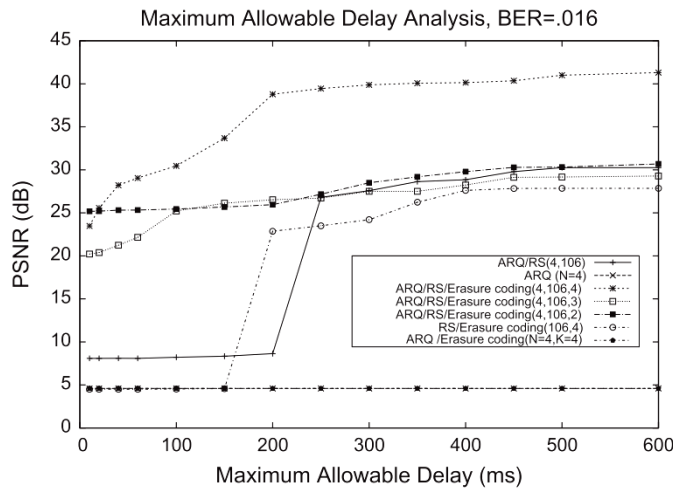


شکل ۱: مقایسه متوسط PSNR نسبت به BER

آقای نادری دو سال بعد مطالعات خود را در مورد کنترل خطا ادامه داد و در [۱۵] بررسی جامعی میان پنج الگوی کنترل خطا در WMSN ارائه کرد. این پنج روش عبارت‌اند از: ARQ، FEC، EC، ARQ/FEC ترکیبی در لایه لینک و کنترل خطای بین لایه‌ای ترکیبی. ایشان این پنج روش را از طریق پنج پارامتر با هم مقایسه می‌کنند. پارامترها عبارت‌اند از: کارایی انرژی، PSNR، نرخ گم‌شدن فریم، مجموع تفاضل تأخیرها و PSNR با تأخیر محدود. نتایج شبیه‌سازی نشان می‌دهد که خطاهای کانال بی‌سیم چگونه بر روی کارایی WMSN‌ها اثر می‌گذارد و چه پارامترهایی بر روی طراحی الگوی کنترل خطا برای WMSN‌ها مؤثر است. نتایج شبیه‌سازی در جدول ۱ قابل مشاهده است و به راحتی می‌توان دریافت که الگوی ARQ/RS/EC

¹ Quality of Experience

ترکیبی بین لایه‌ای به جز در مصرف انرژی بهترین کارایی را دارد. شکل ۲ میزان PSNR دریافتی در این پنج روش را نسبت به بیشترین تأخیر قابل قبول نشان می‌دهد و روش ترکیبی بین لایه‌ای را به عنوان بهترین کیفیت ویدئوی دریافتی معرفی می‌کند. هر کدام از پارامترهای تعیین شده در روش Cross-layer (4, 106, 4) نشان‌دهنده مشخصات یکی از روش‌ها است. پارامتر اول تعداد باز ارسال در روش ARQ، پارامتر دوم ۶ بیت افزونه به بسته ۱۰۰ بیتی در روش FEC و پارامتر سوم تعداد بسته‌های افزونه در لایه کاربرد برای EC را نشان می‌دهد.



شکل ۲: مقایسه PSNR نسبت به بیشترین تأخیر قابل قبول

جدول ۱: نتایج شبیه‌سازی پژوهش آقای نادری [۱۵]

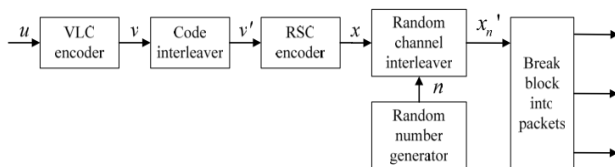
Performance Metric	Efficient Schema	Worse Schema
Frame Loss Rate	Cross-layer (4,106, 4)	Erasure coding (k=4)
PSNR	Cross-layer (4,106, K)	ARQ, Erasure coding
Delay-constrained PSNR (low delay constraint)	Cross-layer (4,106, 4)	Erasure coding (k=4)
Delay-constrained PSNR (high delay constraint)	Hybrid ARQ/RS (4, 106), Cross-layer (4,106, 2)	ARQ(N=7)
Energy Efficiency	RS	Cross-layer ARQ/RS/Erasure
Latency	RS, Hybrid ARQ/RS (2,M)	ARQ(N=7)
Cumulative Jitter	Cross-layer (4,106, 4)	ARQ, Cross-layer ARQ/Erasure

۵.۵ مکانیزم FEC بین لایه‌ای

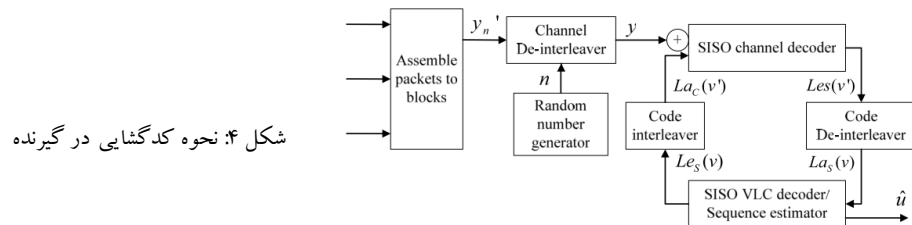
آقای Yang و همکارانش در [۲۲] یک مکانیزم کنترل خطای بین لایه‌ای از FEC را ارائه می‌دهد که برای انتقال قابل اطمینان block با داده‌ی گذشته با طول متغیر^۱ در WMSN طراحی شده است. مکانیزم پیشنهادی با استفاده از الگوی FEC در لایه‌های فیزیکی، انتقال و کاربرد، علاوه بر فراهم کردن

^۱ Variable length code

توانایی بالای تصحیح خطای بی‌تی، قادر به بازیابی بسته‌های گم‌شده در انتقال‌های چندگانه نیز است. این مکانیزم در غالب یک الگوی دوحالتی از FEC بر اساس ISFC^۱ کار می‌کند. الگوی RVLC^۲ در لایه کاربرد و کدهای RSC^۳ در لایه فیزیکی و بسته‌های افزونه در لایه انتقال تولید می‌شوند. نتایج شبیه‌سازی نشان می‌دهد که قابلیت اطمینان در انتقال را بهبود بخشیده و همچنین پیچیدگی محاسباتی کمی در کدگذارها دارد. به همین دلیل برای WMSNها بسیار مناسب است. شکل‌های ۳ و ۴ به ترتیب کدگذاری در فرستنده و کدگشایی در گیرنده را نشان می‌دهند. لازم به ذکر است که آقای Yang و همکارانش مطالعات اولیه خود را در [۲۳] ارائه کرده و سپس آن را در [۲۲] تکمیل کردند. با بررسی دقیق‌تر نمودارهای شبیه‌سازی شده می‌توان فهمید که روش پیشنهادی آن‌ها به‌درستی مقایسه نشده است و به‌راحتی نمی‌توان تصمیم گرفت که برای کنترل خطا در WMSN روش مناسبی است!



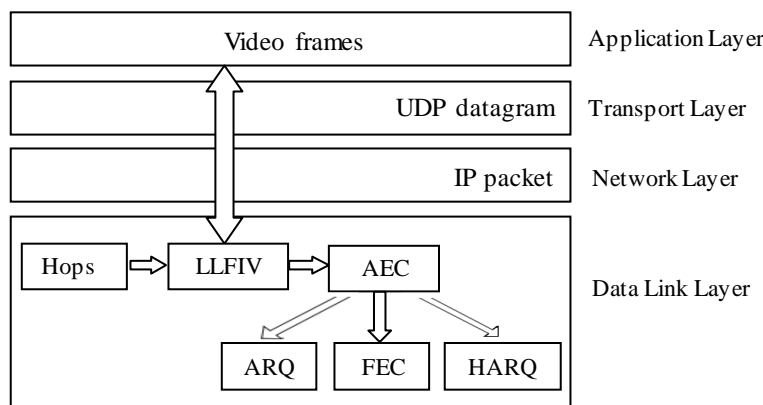
شکل ۳: نحوه کدگذاری در فرستنده



شکل ۴: نحوه کدگشایی در گیرنده

۶.۵. مکانیزم کنترل خطای تطبیقی

آقای Le و همکارانش در [۲۴] یک مکانیزم کنترل خطای تطبیقی بر اساس اهمیت فریم‌های لایه لینک به نام AEC-LLFIV^۴ را برای WMSNها ارائه می‌کنند. در این الگوریتم یک ماژول به نام LLFIV وجود دارد که بر اساس اهمیت فریم، مکانیزم کنترل خطا را انتخاب می‌کند. لازم به ذکر است که I-فریم‌ها از اولویت بالاتری برخوردار هستند لذا از میان روش‌های ARQ، FEC در لایه لینک و HARQ، روش HARQ با قابلیت اطمینان بالا انتخاب می‌شود. در شکل ۵ می‌توانید با نحوه‌ی فعالیت ماژول‌ها بیشتر آشنا شوید. آنالیز آماری در این مقاله نشان می‌دهد که الگوریتم پیشنهادی انرژی مصرفی را کاهش و قابلیت اطمینان ارتباط را افزایش می‌دهد.



شکل ۵: نحوه پیاده‌سازی ماژول‌ها در روش AEC-LLFIV

^۱ Iterative joint Source-Channel Fountain Code

^۲ Recursive Variable Length Code

^۳ Recursive Systemic Convolutional

^۴ Adaptive Error Control-Link Layer Frame IV

۶. نتیجه‌گیری

هدف بنیادی در این پژوهش، شناسایی روش‌های بهبود مکانیزم کنترل خطا برای شبکه‌های حسگر چندرسانه‌ای بی‌سیم است به طوری که با بررسی روش‌های کنترل خطای موجود در شبکه‌های گوناگون و شناسایی نقاط قوت و ضعف آن‌ها، بهبود مکانیزم کنترل خطا امکان‌پذیر شود. همان‌طور که بیان شد، تاکنون دستاوردهای پژوهش آقای نادری بهترین اطلاعات را در اختیار پژوهشگران قرار می‌دهد. همچنین مشاهده می‌شود که به‌کارگیری اطلاعات بین لایه‌ای نقش با ارزشی را در بهبود کنترل خطا بر روی تمام شبکه‌ها ایفا می‌کند. لذا ترکیب روش‌های کنترل خطای موجود، بهترین عملکرد را در تصحیح خطا به وجود می‌آورد ولی نقطه‌ضعف این روش مصرف انرژی بالایی است که بر حسگرها با منابع محدود تحمیل می‌شود. همچنین برآورد پویای میزان افزونگی در روش‌های FEC و EC تأثیر به‌سزایی در کاهش مصرف انرژی دارد و تأخیر انتها به انتها را نیز کاهش می‌دهد. برآورده کردن تمام این ویژگی‌ها در طراحی یک مکانیزم کنترل خطا، چشم‌اندازی برای کنترل خطا در شبکه‌های حسگر چندرسانه‌ای بی‌سیم محسوب می‌شود.

۷. مراجع

- [1] Akyildiz. I. F, Melodia. T, and Chowdhury. K. R, "A survey on wireless multimedia sensor networks," *Comput. Networks*, vol. 51, no. 4, pp. 921–960, 2007.
- [2] Akyildiz. I. F, Melodia. T, and Chowdhury. K. R, "Wireless multimedia sensor networks: A survey," *IEEE Wirel. Commun.*, vol. 14, no. 6, pp. 32–39, 2007.
- [3] Melodia. T and Akyildiz. I. F, "Research challenges for wireless multimedia sensor networks," in *Distributed Video Sensor Networks*, Bhanu. B, Ravishankar. C. V, Roy-Chowdhury. A. K, Aghajan. H, and Terzopoulos. D, Eds. London: Springer-Verlag, 2011, pp. 233–246.
- [4] Hamid. Z and Hussain. F. B, "QoS in wireless multimedia sensor networks: a layered and cross-layered approach," *Wirel. Pers. Commun.*, vol. 75, no. 1, pp. 729–757, Aug. 2014.
- [5] Vuran. M. C and Akyildiz. I. F, "Cross-Layer analysis of error control in wireless sensor networks," in *Proceedings of The 3rd Annual IEEE Communications Society on Sensor and Ad Hoc Communications and Networks, (SECON '06)*, 2006, vol. 2, pp. 585–594.
- [6] Vuran. M. C and Akyildiz. I. F, "Error control in wireless sensor networks: a cross layer analysis," *IEEE/ACM Trans. Netw.*, vol. 17, no. 4, pp. 1186–1199, 2009.
- [7] Wang. Y and Zhu. Q.-F, "Error control and concealment for video communication: a review," *IEEE*, vol. 86, no. 5, pp. 974–997, May 1998.
- [8] Vetro. A, Xin. J, and Sun. H, "Error resilience video transcoding for wireless communications," *IEEE Wirel. Commun.*, vol. 12, no. 4, pp. 14–21, Aug. 2005.
- [9] Argyriou. A, "Cross-Layer Error Control for Multimedia Streaming in Wireless/Wireline Packet Networks," *IEEE Trans. on, Multimed.*, vol. 10, no. 6, pp. 1121–1127, Oct. 2008.
- [10] Soltani. S, Misra. K, and Radha. H, "Delay Constraint Error Control Protocol for Real-Time Video Communication," *IEEE Trans. on, Multimed.*, vol. 11, no. 4, pp. 742–751, Jun. 2009.
- [11] Li. L, Han. Q, and Niu. X, "Enhanced Adaptive FEC Based Multiple Description Coding for Internet Video Streaming over Wireless Network," in *Proceeding of The Sixth International Conference on Intelligent Information Hiding and Multimedia Signal Processing (IIH-MSP '10)*, 2010, pp. 478–481.
- [12] Raya. M and Yeshiwondem. S, "Study the Effect of FEC on Video Streaming over the Networks," Master Thesis, Blekinge Institute of Technology, Karlskrona, Sweden, 2013.
- [13] Tsai. M.-F, Huang. T.-C, Ke. C.-H, Shieh. C.-K, and Hwang. W.-S, "Adaptive hybrid error correction model for video streaming over wireless networks," *Multimed. Syst.*, vol. 17, no. 4, pp. 327–340, Nov. 2011.
- [14] Hamid. Z and Hussain. F. B, "XL-WMSN: cross-layer quality of service protocol for wireless multimedia sensor networks," *EURASIP J. Wirel. Commun. Netw.*, vol. 2013, no. 1, pp. 1–16, 2013.
- [15] Naderi. M. Y, Rabiee. H. R, Khansari. M, and Salehi. M, "Error control for multimedia communications in wireless sensor networks: A comparative performance analysis," *Ad Hoc Networks*, vol. 10, no. 6, pp. 1028–1042, 2012.
- [16] Ahn. J, Yoon. J, and Lee. K, "Performance and energy consumption analysis of 802.11 with FEC codes over wireless sensor networks," *J. Commun. Networks*, vol. 9, no. 3, pp. 265–273, Sep. 2007.

- [17] Ahn. J, Lee. Y, Yoon. J., and Lee. K, “Analyzing the Effect of a Block FEC Algorithm ’ s Symbol Size on Energy Consumption in Wireless Sensor Networks,” in *Proceeding of The Third International Symposium, UCS ’06*, 2006, pp. 440–453.
- [18] Misra. S, Reisslein. M, and Xue. G, “A survey of multimedia streaming in wireless sensor networks,” *IEEE Commun. Surv. Tutorials*, vol. 10, no. 4, pp. 18–39, 2008.
- [19] Sarisaray. P, Gur. G, Baydere. S, and Harmanci. E, “Performance Comparison of Error Compensation Techniques with Multipath Transmission in Wireless Multimedia Sensor Networks,” in *Proceeding of The 15th International Symposium on Modeling, Analysis, and Simulation of Computer and Telecommunication Systems, (MASCOTS ’07)*, 2007, pp. 73 – 86.
- [20] Zhao. Z and Ros. D, “QoE-aware FEC Mechanism for Intrusion Detection in Multi-tier Wireless Multimedia Sensor Networks,” in *Proceeding of The IEEE 8th International Conference on Wireless and Mobile Computing, Networking and Communications (WiMob ’12)*, 2014, pp. 689–696.
- [21] Naderi. M. Y, Rabiee. H. R, and Khansari. M, “Performance analysis of selected error control protocols in wireless multimedia sensor networks,” in *Proceedings of The 18th IEEE/ACM International Symposium on Modeling, Analysis, and Simulation of Computer Systems (MASCOTS)*, 2010, pp. 447–450.
- [22] Yang. Y, Chen. Y, and Yi. W, “Cross-layer fec for reliable transfer of variable-length coded data in WMSN,” in *Proceedings of The IET International Conference on Wireless Sensor Network*, 2010, pp. 380–384.
- [23] Yang. Y, Chen. Y, and Yi. W, “Cross-layer forward error control for reliable transfer in wireless multimedia sensor networks,” in *Proceeding of The 7th IEEE Consumer Communications and Networking Conference (CCNC ’10)*, 2010, pp. 1–2.
- [24] Le. D, Jin. Y, Xia. K, and Bai. G, “Adaptive error control mechanism based on link layer frame importance valuation for wireless multimedia sensor networks,” in *Proceedings of The 2nd International Conference on Advanced Computer Control (ICACC ’10)*, 2010, vol. 1, pp. 465–470.