

پروتکلی مبتنی بر اتوماتاهای یادگیر برای کنترل دسترسی به رسانه انتقال در شبکه های موردی سیار

ناصر فرج زاده

دانشکده مهندسی کامپیوتر،

دانشگاه آزاد اسلامی، واحد اهر، ایران

n-farajzadeh@iau-ahar.ac.ir

محمد رضا میبیدی

دانشکده مهندسی کامپیوتر و فناوری اطلاعات،

دانشگاه صنعتی امیرکبیر، تهران، ایران

mmeybodi@aut.ac.ir

چکیده - در این مقاله پروتکلی مبتنی بر اتوماتاهای یادگیر برای کنترل دسترسی به رسانه انتقال در شبکه های موردی سیار پیشنهاد شده است. در این پروتکل هر یک از ایستگاه های سیار مجهز به یک اتوماتای یادگیر هستند. اتوماتای یادگیر هر ایستگاه تصمیم میگیرد که آیا ایستگاه اجازه ارسال اطلاعاتش را دارد یا نه. با استفاده از شبیه سازی کامپیوتری کارایی پروتکل پیشنهادی (MAHLAP) از نظر تعداد ارسال های موفق و تعداد ارسال های ناموفق مورد ارزیابی قرار گرفته و سپس با پروتکل های *AHLAP*، *IEEE 802.11 DCF* و *DCC_V* مقایسه شده است. نتایج بدست آمده حاکی از کارایی بالای پروتکل پیشنهادی است. کلید واژه - اتوماتاهای یادگیر، شبکه های موردی سیار، کنترل دسترسی

۱- مقدمه

همچنین، بعلت متحرک بودن ایستگاه ها و فقدان کنترل مرکزی در شبکه های موردی سیار، مشکلات عدیده ای نظیر مشکل ایستگاه های پنهان و ایستگاه های آشکار در این شبکه ها رخ می دهند که باید در طراحی پروتکل های دسترسی به رسانه انتقال آنها را مد نظر قرار داد [۴ و ۵].

پروتکل ALOHA اولین پروتکلی می باشد که برای کنترل دسترسی به رسانه انتقال طراحی شده است. اساس کار این پروتکل بسیار ساده است؛ هر زمان که ایستگاهی نیاز به انتقال داده هایی دارد، آنها را ارسال می کند. پابین بودن کارایی این پروتکل به این خاطر است که دسترسی کورکورانه ای ایستگاه ها به کانال های ارتباطی باعث بوجود آمدن تصادم های فراوان بسته ها می شود. پروتکل اصلاح شده ALOHA، به نام پروتکل با بازه ی زمانی، زمان را به بازه های زمانی تقسیم می کند و ارسال بسته ها تنها در شروع هر بازه زمانی امکان پذیر می باشد. پروتکل ALOHA با بازه ی زمانی، کارایی پروتکل ALOHA را بهبود بخشیده است [۶].

یکی دیگر از پروتکل های موجود در این زمینه، استاندارد IEEE 802.11 DCF است [۷]. روش دسترسی در این

شبکه ی موردی سیار مجموعه ای از ابزارهای مستقل متحرکی است که در محیطی بی سیم با همدیگر در ارتباط بوده و بصورت توزیع شده برای ایجاد شبکه ای بدون ساختاری ثابت همکاری می کنند [۱]. یکی از مسائل مهم در شبکه های موردی سیار کنترل دسترسی به رسانه انتقال است. در کنترل دسترسی به رسانه انتقال مساله این است که وقتی برای دسترسی به رسانه ی انتقال بین ایستگاه های ارسال کننده ی داده رقابت وجود دارد، چگونه می توان تعیین کرد که چه کسی باید از رسانه ی انتقال استفاده کند [۲]. طراحی و پیاده سازی پروتکل کنترل دسترسی به رسانه انتقال که در زیر لایه MAC صورت می گیرد، در شبکه های سلولی و یا شبکه های محلی بی سیم تفاوت های اساسی با شبکه های موردی سیار دارد [۳]. نرخ خطای بیت (BER) در شبکه های موردی سیار خیلی بیشتر از نرخ خطای بیت در شبکه های سلولی و شبکه های محلی بی سیم است. علاوه بر این، خطا در شبکه های موردی سیار بصورت متوالی رخ می دهد در حالیکه در شبکه های سلولی و شبکه های محلی بی سیم، خطا بطور تصادفی رخ می دهد.

استاندارد CSMA/CA است که تا حدودی به روش CSMA/CD شباهت دارد. در روش CSMA/CA، ایستگاه‌های کاری قبل از ارسال داده کانال رادیویی را کنترل کرده و در صورت آزاد بودن کانال اقدام به ارسال می‌کنند و در صورتی که کانال رادیویی اشغال باشد بر طبق الگوریتم خاصی مدتی صبر کرده و مجدداً اقدام به کنترل کانال رادیویی می‌کنند [۲].

پروتکل دیگری که برای کنترل دسترسی به رسانه انتقال در شبکه‌های موردی سیار گزارش شده است، پروتکلی مبتنی بر اتوماتاهای یادگیر به نام AHLAP است [۸]. در این پروتکل هر ایستگاه سیار، مجهز به یک اتوماتای یادگیر است. اتوماتای یادگیر هر ایستگاه تصمیم می‌گیرد که آیا ایستگاه اجازه ارسال اطلاعاتش را دارد یا نه. در پروتکل AHLAP فرض بر این است که اگر ایستگاهی بسته یا بسته‌هایی برای ارسال در لحظه t دارد (حتی اگر این ارسال‌ها ارسال‌های مجدد باشند) با احتمال زیاد در لحظه $t+1$ نیز بسته یا بسته‌هایی برای ارسال خواهد داشت به همین دلیل، احتمال انتخاب آن ایستگاه برای مراحل بعد بر طبق الگوریتم یادگیری افزایش می‌یابد و اگر ایستگاهی اعلام کند که بسته‌ای برای ارسال ندارد، آنگاه احتمال انتخاب آن بر طبق الگوریتم یادگیری کاهش می‌یابد. این پروتکل مابین یک ارسال جدید و یک ارسال مجدد تمایزی قائل نشده و در هر صورت احتمال انتخاب ایستگاه ارسال کننده را برای مراحل بعدی افزایش می‌دهد و این مساله که ممکن است ارسال بعضی از بسته‌ها ناموفق باشد در بروز رسانی بردار احتمال اتوماتاهای یادگیر دخالت داده نمی‌شود.

بدلیل اینکه در شرایط واقعی نمی‌توان آگاهی کامل از وضعیت رسانه انتقال حاصل کرد، بنابراین در دسته‌ی دیگری از الگوریتم‌های کنترل دسترسی به رسانه انتقال، سعی در وفق دادن CW بر اساس استفاده از یکسری مقادیر آماری شده است [۹، ۱۰ و ۱۱]. یکی از این الگوریتم‌ها، الگوریتم DCC_V است [۱۱]. این الگوریتم فرآیند رخ داد تصادم‌ها را فرآیندی غیر ثابت در نظر گرفته و مقدار CW را بر اساس استفاده از میانگین و واریانس فرآیند رخ داد تصادم‌ها محاسبه می‌کند.

در این مقاله پروتکلی به نام MAHLAP

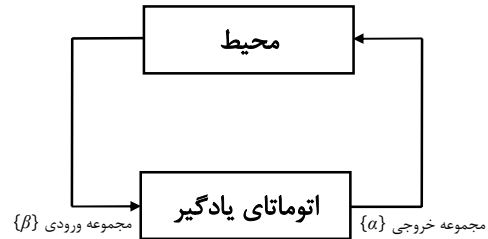
(Modified AHLAP) که اصلاح شده پروتکل AHLAP است، برای کنترل دسترسی به رسانه انتقال در شبکه‌های موردی سیار پیشنهاد می‌گردد. از طریق شبیه سازی کامپیوتری کارایی پروتکل پیشنهادی (MAHLAP) از نظر تعداد ارسال‌های موفق و ارسال‌های ناموفق مورد ارزیابی قرار گرفته و سپس با پروتکل‌های IEEE 802.11 DCF، AHLAP و DCC_V مقایسه شده است. ادامه مقاله به این صورت سازماندهی شده است. در بخش ۲ اتوماتاهای یادگیر به اختصار شرح داده می‌شود. در بخش ۳ پروتکل پیشنهادی و در بخش ۴ نتایج شبیه سازی‌ها ارائه می‌گردد. بخش پایانی مقاله بخش نتیجه گیری می‌باشد.

۲- اتوماتای یادگیر

اتوماتای یادگیر یک ماشین با حالات محدود است که می‌تواند تعداد محدودی عمل را انجام دهد. هر عمل انتخاب شده توسط یک محیط تصادفی ارزیابی شده و پاسخی به اتوماتای یادگیر داده می‌شود. اتوماتای یادگیر از این پاسخ استفاده نموده و عمل خود را برای مرحله بعد انتخاب می‌کند. در طی این فرآیند، اتوماتای یادگیر فرا می‌گیرد که چگونه بهترین عمل را از بین اعمال مجاز خود انتخاب نماید. شکل (۱) ارتباط بین اتوماتای یادگیر و محیط را نشان می‌دهد.

اتوماتای یادگیر به دو گروه اتوماتاهای یادگیر با ساختار ثابت و اتوماتاهای یادگیر با ساختار متغیر تقسیم می‌شوند. در این مقاله از اتوماتاهای یادگیر با ساختار متغیر استفاده شده است که در ادامه این بخش توضیح داده می‌شود.

اتوماتاهای یادگیر با ساختار متغیر: اتوماتای یادگیر با ساختار متغیر توسط ۴ تایی $\{a, b, p, T\}$ نشان داده می‌شود که در آن $a = \{a_1, a_2, \mathbf{K}, a_r\}$ مجموعه عمل‌های اتوماتا، $b = \{b_1, b_2, \mathbf{K}, b_m\}$ مجموعه ورودی‌های اتوماتا، $p = \{p_1, p_2, \mathbf{K}, p_m\}$ بردار احتمال انتخاب اعمال و $p(n+1) = T[a(n), b(n), p(n)]$ الگوریتم یادگیری هستند. در این نوع از اتوماتاهای یادگیر، اگر عمل a_i در مرحله n م انجام شود و پاسخ مطلوب از محیط دریافت نماید، احتمال $p_i(n)$ افزایش یافته و سایر احتمال‌ها کاهش می‌یابند. در هر حال، تغییرات به گونه‌ای صورت می‌گیرد تا حاصل جمع $p_i(n)$ ها همواره ثابت و مساوی یک



شکل ۱: ارتباط بین اتوماتای یادگیر و محیط

انتخاب ایستگاه ارسال کننده را برای مراحل بعد افزایش می‌دهد و به عبارتی دیگر این مساله که ممکن است ارسال بعضی از بسته‌ها ناموفق باشند در بروز رسانی بردار احتمال اتوماتاهای یادگیر در نظر گرفته نشده است. ارسال‌های انجام گرفته توسط ایستگاه انتخاب شده ممکن است بدلیل یکی از عوامل: وجود ازدحام در شبکه، گم و یا خراب شدن بسته‌ها، از کار افتادن یکی از ایستگاه‌های میانی (در صورتی که ارسال داده‌ها بصورت چندگامی باشد) و یا بروز تصادم بخاطر وجود ایستگاه‌های پنهان موفقیت آمیز نباشند و نیاز به ارسال مجدد داشته باشند.

در این بخش پروتکلی به نام MAHLAP که اصلاح شده پروتکل AHLAP است، برای کنترل دسترسی به رسانه انتقال در شبکه‌های موردی سیار پیشنهاد می‌گردد. در این پروتکل مانند پروتکل AHLAP، هر ایستگاه سیار مجهز به یک اتوماتای یادگیر شده است. هر یک از این اتوماتاها تصمیم می‌گیرند که آیا ایستگاه مربوطه مجاز به ارسال اطلاعاتش است یا نه. اتوماتای یادگیر هر یک از ایستگاه‌ها، بردار احتمالات خود را بر خلاف پروتکل AHLAP که آنرا فقط بر اساس ارسال بسته و بدون توجه به موفق و یا ناموفق بودن آن بروز می‌کرد، بر اساس دو عامل الگوی ترافیکی ایستگاه‌ها و ارسال‌های موفق و ناموفق بروز می‌کند. به این ترتیب در پروتکل پیشنهادی، احتمال انتخاب ایستگاهی که برای ارسال برگزیده شده است بشرطی افزایش می‌یابد که ارسالش موفق باشد و در صورتی که ارسال ناموفقی داشته باشد احتمال انتخابش کاهش می‌یابد. لازم به ذکر است که عدم توجه به ارسال‌های ناموفق در چنین شبکه‌هایی که انرژی محدودی دارند، باعث کاهش طول عمر شبکه خواهد گردید. شکل (۲) شبه کد پروتکل پیشنهادی را که توسط ایستگاه i اجرا میشود، نشان می‌دهد.

۴- نتایج شبیه سازی‌ها

برای مقایسه پروتکل‌های IEEE 802.11 DCF، MAHLAP و DCC_V، دو متریک تعداد ارسال‌های موفق و تعداد ارسال‌های ناموفق (بخاطر تصادم یا پر بودن بافرها) در نظر گرفته شده است. همچنین از NS2 [۱۳] برای شبیه سازی‌ها استفاده شده است. جهت

باقی بماند. الگوریتم زیر نمونه‌ای از الگوریتم‌های یادگیر خطی است.

الف- پاسخ مطلوب

$$p_i(n+1) = p_i(n) + a[1 - p_i(n)]$$

$$p_j(n+1) = (1-a)p_j(n) \quad \forall j \quad j \neq i$$

ب- پاسخ نامطلوب

$$p_i(n+1) = (1-b)p_i(n)$$

$$p_j(n+1) = \frac{b}{r-1} + (1-b)p_j(n) \quad \forall j \quad j \neq i$$

در روابط فوق، a پارامتر پاداش و b پارامتر جریمه است. با توجه به مقادیر a و b سه حالت را می‌توان در نظر گرفت. زمانی که a و b با هم برابر باشند، الگوریتم را LRP، زمانی که b از a خیلی کوچکتر باشد، الگوریتم را LREP و زمانی که b مساوی صفر باشد، الگوریتم را LRI می‌نامیم. برای اطلاعات بیشتر درباره اتوماتاهای یادگیر و کاربردهای آن می‌توان به [۱۲] مراجعه نمود.

۳- پروتکل پیشنهادی

در پروتکل AHLAP [۸]، اتوماتای یادگیر هر ایستگاه تصمیم می‌گیرد که آیا این ایستگاه اجازه ارسال اطلاعاتش را دارد یا نه. در این پروتکل فرض بر این است که اگر ایستگاهی بسته یا بسته‌هایی برای ارسال در لحظه t دارد (حتی اگر این ارسال‌ها ارسال‌های مجدد باشند) با احتمال زیاد در لحظه $t+1$ نیز بسته یا بسته‌هایی برای ارسال خواهد داشت، به همین دلیل احتمال انتخاب آن ایستگاه برای دفعات بعد بر طبق الگوریتم یادگیری افزایش می‌یابد و بالعکس. پروتکل AHLAP بین یک ارسال جدید و یک ارسال مجدد تمایزی قائل نشده و در هر دو صورت احتمال

مواجه با یکی از مشکلات عمده در شبکه‌های بی سیم، یعنی وجود ایستگاه‌های پنهان و آشکار، نیز مورد بررسی قرار گرفته است. بهمین دلیل، مختصات نهایی ایستگاه‌ها به طریقی تعیین شده است که نهایتاً روی یک خط مستقیم قرار گیرند. نتایج آزمایشات انجام شده در شکل‌های (۳) الی (۵) و جدول (۳) ارائه گردیده است. لازم به ذکر است که در نتایج نشان داده شده، بسته‌های از بین رفته در نتیجه وجود نویز و خطای بیت، در نظر گرفته نشده‌اند. الگوریتم‌های MAHLAP و AHLAP هر دو از اتوماتای یادگیر LRP با پارامترهای پاداش و جریمه برابر با 0.1 استفاده می‌کنند.

در شکل‌های (۳-الف) و (۳-ب)، پروتکل‌های IEEE 802.11 DCF، AHLAP، DCC_V و MAHLAP در شبکه ۱ از نظر تعداد ارسال‌های موفق و تعداد ارسال‌های ناموفق مقایسه شده‌اند. همانطوریکه در این شکل‌ها مشاهده می‌شود، در ابتدای کار هر دو پروتکل AHLAP و MAHLAP کارایی کمتری از خود نشان می‌دهند و تقریباً یکسان عمل می‌کنند. با گذشت زمان (از ثانیه ۲۰ ام به بعد) و یادگیری مشخصات محیط توسط این پروتکل‌ها، کارایی هر دو بیکباره افزایش پیدا می‌کند. با توجه به سناریوی شبکه، بار وارده بر شبکه از ثانیه ۴۰ ام به بعد به حداکثر اندازه خود می‌رسد و بنابراین ازدحام نسبتاً بالایی در شبکه بوجود می‌آید. ملاحظه می‌شود که در این شرایط هر دو پروتکل MAHLAP و AHLAP عملکرد بهتری از خود به نمایش گذاشته‌اند. از ثانیه ۷۱ ام رفته رفته (ثانیه به ثانیه) بار وارده به شبکه کاهش پیدا می‌کند تا جائیکه در ثانیه ۷۳ ام، بجز ایستگاه شماره ۴، ایستگاه دیگری تمایل به ارسال از خود نشان نمی‌دهد. از اینرو، از ثانیه ۷۳ ام تا انتهای شبیه‌سازی، کارایی هر چهار پروتکل تقریباً یکسان می‌باشد.

در شکل‌های (۴-الف) و (۴-ب)، پروتکل‌های IEEE 802.11 DCF، AHLAP، DCC_V و MAHLAP در شبکه ۲ از نظر تعداد ارسال‌های موفق و تعداد ارسال‌های ناموفق مقایسه شده‌اند. ملاحظه می‌شود که با یادگیری مشخصات محیط توسط پروتکل‌های AHLAP و MAHLAP تقریباً از ثانیه ۳۰ ام به بعد، کارایی هر دو پروتکل بنحو چشمگیری از کارایی پروتکل‌های 802.11

```
P = Create_probabilities_vector();
Initialize_probabilities_vector(P);

while (TRUE)
{
    /* Select a transmitting station according to the action
    probability vector of learning automata */
    transmitter = Select_transmitting_station(P);

    if (transmitter == i)
    {
        if (Queue_size(i) > 0) // Is there a packet to send?!
        {
            Send_packets(i);
            feedback = Wait_for_ACK();

            if (feedback == NO_FEEDBACK)
                Decrease(Pi); // Penalize action i
            else
                Increase(Pi); // Reward action i
        }
        else
        {
            Remain_silent();
            Decrease(Pi); // Penalize action i
        }
    }
    else
    {
        feedback = Get_network_feedback();

        if (feedback == DATA_PACKET OR
            feedback == ACK_PACKET)
            Increase(Pi); // Reward action i
        else if (feedback == IDLE_SLOT)
            Decrease(Pi); // Penalize action i
        if (feedback == DATA_PACKET AND
            destination_station(feedback) == i)
            Send_ACK_PACKET(i);
    }
}
```

شکل ۲: شبیه‌سازی پروتکل MAHLAP

شبیه‌سازی رفتار هر یک از ایستگاه‌های سیار در محیطی بی‌سیم و بدون ساختار مشخص، سه شبکه ۱، ۲ و ۳ به ترتیب با مشخصات $N = 10, Q = 10, N = 5, Q = 10$ و $N = 10, Q = 20$ در نظر گرفته شده است که N تعداد ایستگاه‌های سیار و Q حداکثر طول هر یک از صف‌های واسط می‌باشد. سناریوی ترتیب داده شده برای شبکه ۱ در جدول ۱ و سناریوی ترتیب داده شده برای شبکه ۲ و ۳ در جدول ۲ آمده است. تنها تفاوت شبکه‌های شماره ۲ و ۳ در طول صف‌های واسط آنهاست و از نظر سناریو با یکدیگر تفاوتی ندارند. اطلاعاتی که برای هر سناریو در جداول آمده است عبارتند از نقطه‌ی استقرار اولیه‌ی هر یک از ایستگاه‌ها، نقطه‌ی هدف هر یک از ایستگاه‌ها، سرعت حرکت هر یک از ایستگاه‌ها و زمان شروع و اختتام برقراری ارتباط هر ایستگاه با ایستگاه دیگر. در این سناریوها سعی شده است که کارایی پروتکل‌های ذکر شده برای هر دو ترافیک سبک و سنگین ارزیابی و مقایسه شوند. همچنین کارایی پروتکل‌ها در

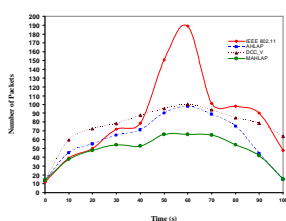
و ۳ در طول صف‌های واسط است (در شبکه ۳ طول هر یک از بافرها برابر با ۲۰ و در شبکه ۲، برابر با ۱۰ است)، هر دو پروتکل مبتنی بر اتوماتاهای یادگیر دارای عملکرد بهتری در مقایسه با پروتکل‌های IEEE 802.11 و DCC_V می‌باشند.

۵- نتیجه گیری

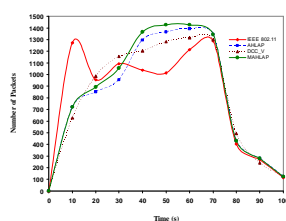
در این مقاله پروتکلی مبتنی بر اتوماتاهای یادگیر برای کنترل دسترسی به رسانه انتقال در شبکه‌های موردی سیار ارائه شد. با استفاده از شبیه سازی کامپیوتری کارایی پروتکل پیشنهادی (MAHLAP) مورد ارزیابی قرار گرفت و با پروتکل‌های IEEE 802.11 DCF، IEEE 802.11 AHLAP و DCC_V مقایسه گردید. نتایج بدست آمده کارایی پروتکل پیشنهادی را نشان داده است.

DCF و DCC_V بهتر شده است. این اختلاف کارایی از ثانیه ۵۴ (زمانیکه همه ایستگاه‌ها تمایل به ارسال دارند) تا انتهای ثانیه ۷۸ (زمانیکه تنها ایستگاه ۹ تمایل به ارسال دارد) به حداکثر خود می‌رسد. همچنین شکل (۴-ب) این واقعیت را نشان می‌دهد که با وجود سبک شدن ترافیک از ثانیه ۷۸ به بعد، هر دو پروتکل MAHLAP و AHLAP کارایی بهتری از خود نشان داده و بسته‌های کمتری را از دست می‌دهند. عبارتی در مواجه با مشکلات ایستگاه‌های مخفی و آشکار بهتر عمل می‌کنند.

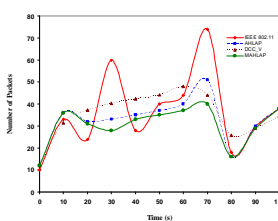
در شکل‌های (۵-الف) و (۵-ب) پروتکل‌های IEEE 802.11 DCF، MAHLAP، DCC_V، AHLAP و IEEE 802.11 شبکه ۳ از نظر تعداد ارسال‌های موفق و تعداد ارسال‌های ناموفق مقایسه شده‌اند. با توجه به اینکه تنها تفاوت شبکه ۲



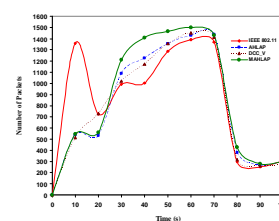
شکل (۴-ب)



شکل (۴-الف)



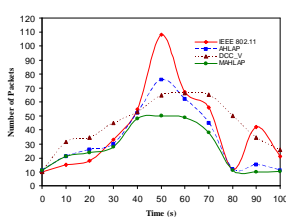
شکل (۳-ب)



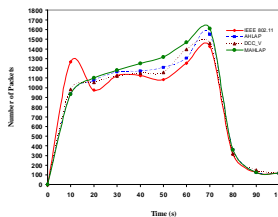
شکل (۳-الف)

شکل ۴: مقایسه پروتکل‌های IEEE 802.11، AHLAP، DCC_V و MAHLAP در شبکه ۲. (الف) تعداد بسته‌های ارسال شده موفق، (ب) تعداد بسته‌های ارسال شده ناموفق

شکل ۳: مقایسه پروتکل‌های IEEE 802.11، AHLAP، DCC_V و MAHLAP در شبکه ۱. (الف) تعداد بسته‌های ارسال شده موفق، (ب) تعداد بسته‌های ارسال شده ناموفق



شکل (۵-ب)



شکل (۵-الف)

شکل ۵: مقایسه پروتکل‌های IEEE 802.11، AHLAP، DCC_V و MAHLAP در شبکه ۳. (الف) تعداد بسته‌های ارسال شده موفق، (ب) تعداد بسته‌های ارسال شده ناموفق

جدول ۱: سناریوی ترتیب داده شده برای شبکه ۱

| ایستگاه | مختصات اولیه (متر) | مختصات نهایی (متر) | زمان شروع حرکت (ثانیه) | سرعت حرکت (k/h) | ایستگاه مورد نظر جهت برقراری ارتباط | زمان شروع ارتباط (ثانیه) | زمان خاتمه ارتباط (ثانیه) |
|---------|--------------------|--------------------|------------------------|-----------------|-------------------------------------|--------------------------|---------------------------|
| ۰ | (۳۰۰ و ۶۰۰) | (۴۰۰ و ۱۰۰) | ۷ | ۱۰ | ۱ | ۱ | ۷۰ |
| ۱ | (۷۰۰ و ۱۰۰) | (۳۰۰ و ۴۰۰) | ۱۵ | ۹ | ۲ | ۱۰ | ۷۱ |
| ۲ | (۴۰۰ و ۱۰۰) | (۵۰۰ و ۴۰۰) | ۲۰ | ۱۱ | ۳ | ۲۰ | ۷۲ |
| ۳ | (۳۰۰ و ۲۰۰) | (۷۰۰ و ۴۰۰) | ۲ | ۱۳ | ۴ | ۳۰ | ۷۳ |
| ۴ | (۳۰۰ و ۵۰۰) | (۹۰۰ و ۴۰۰) | ۲۵ | ۱۵ | ۰ | ۴۰ | ۱۰۰ |

جدول ۲: سناریوی ترتیب داده شده برای شبکه ۲ و ۳

| ایستگاه | مختصات اولیه (متر) | مختصات نهایی (متر) | زمان شروع حرکت (ثانیه) | سرعت حرکت (k/h) | ایستگاه مورد نظر جهت برقراری ارتباط | زمان شروع ارتباط (ثانیه) | زمان خاتمه ارتباط (ثانیه) |
|---------|--------------------|--------------------|------------------------|-----------------|-------------------------------------|--------------------------|---------------------------|
| ۰ | (۷۰۰ و ۹۰۰) | (۱۰۰ و ۵۰۰) | ۱ | ۲۰ | ۱ | ۱ | ۷۰ |
| ۱ | (۲۰۰ و ۶۰۰) | (۵۰۰ و ۲۰۰) | ۵ | ۱۹ | ۲ | ۶ | ۷۱ |
| ۲ | (۴۰۰ و ۷۰۰) | (۵۰۰ و ۳۰۰) | ۱۰ | ۱۸ | ۳ | ۱۲ | ۷۲ |
| ۳ | (۱۰۰ و ۳۰۰) | (۵۰۰ و ۴۰۰) | ۱۵ | ۱۷ | ۴ | ۱۸ | ۷۳ |
| ۴ | (۴۰۰ و ۹۰۰) | (۵۰۰ و ۵۰۰) | ۲۰ | ۱۶ | ۵ | ۲۴ | ۷۴ |
| ۵ | (۸۰۰ و ۱۰۰) | (۵۰۰ و ۶۰۰) | ۲۵ | ۱۶ | ۶ | ۳۰ | ۷۵ |
| ۶ | (۱۰۰ و ۶۰۰) | (۵۰۰ و ۷۰۰) | ۳۰ | ۱۷ | ۷ | ۳۶ | ۷۶ |
| ۷ | (۸۰۰ و ۶۰۰) | (۵۰۰ و ۸۰۰) | ۳۵ | ۱۸ | ۸ | ۴۲ | ۷۷ |
| ۸ | (۲۰۰ و ۶۰۰) | (۵۰۰ و ۹۰۰) | ۴۰ | ۱۹ | ۹ | ۴۸ | ۷۸ |
| ۹ | (۱۰۰ و ۳۰۰) | (۵۰۰ و ۱۰۰۰) | ۴۵ | ۲۰ | ۰ | ۵۴ | ۱۰۰ |

جدول ۳: مقایسه توان عملیاتی پروتکل‌های IEEE 802.11 DCF, AHLAP, DCC_V و MAHLAP

| شبکه | پروتکل | توان عملیاتی بسته‌های ارسال شده موفق (Packet/Sec) | توان عملیاتی بسته‌های ارسال شده ناموفق (Packet/Sec) |
|------|------------|---|---|
| ۱ | 802.11 DCF | 89.81 | 3.39 |
| | AHLAP | 85.61 | 3.60 |
| | DCC_V | 85.10 | 3.85 |
| | MAHLAP | 91.31 | 3.35 |
| ۲ | 802.11 DCF | 86.62 | 9.29 |
| | AHLAP | 87.63 | 6.61 |
| | DCC_V | 87.28 | 8.28 |
| | MAHLAP | 90.68 | 5.15 |
| ۳ | 802.11 DCF | 88.11 | 4.38 |
| | AHLAP | 90.10 | 3.56 |
| | DCC_V | 89.10 | 4.11 |
| | MAHLAP | 94.63 | 3.12 |

مراجع

- wireless LANs: A Learning Automata Based Approach", Ad hoc Networks, pp. 419-431, 2004.
- [9] L. Bononi, M. Conti and L. Donatiello, "Design and Performance of a Distributed Contention Control (DCC) Mechanism for IEEE 802.11 Wireless Local Area Networks", Proc. of the 1st ACM International Work-shop on Wireless Mobile Multimedia, pp. 59-67, 1998.
- [10] J. Hu and K. Eriksson, "A New Distributed Contention Control Protocol for the IEEE 802.11 MAC Layer", Special Session on TCP and MAC Protocols in Wireless and Wired Networks, Proc. of the 1st Int. Conf. on E-Business and Telecommunication Networks (ICETE 2004), pp. 393-401, 2004.
- [11] J. Hu and C.D. Raymond, "A Statistics Based Design of MAC Protocols with Distributed Collision Resolution for Ad Hoc Networks", Int. Conf. on Wireless Networks, Communications and Mobile Computing, pp. 917-922, 2005.
- [12] K.S. Narendra, M.A.L. Thathachar, Learning Automata: An Introduction, Prentice Hall, Englewood Cliffs, NJ, 1989.
- [13] The Network Simulator – NS 2, <http://www.isi.edu/nsnam/ns/>
- [1] S. Basagni, M. Conti, S. Giordano and I. Stojmenovic, Ad Hoc Networking, IEEE Press Wiley, New York, 2003.
- [2] S. Tanenbaum, Computer Networks, Forth Edition, Prentice-Hall International Inc., 2003.
- [3] P. Nicopolitidis, M. S. Obaidat, G. I. Papadimitriou and A. S. Pomportsis, Wireless Networks, Wiley, New York, 2003.
- [4] I. Chlamtac, M. Conti and J. J. Liu, "Mobile Ad-hoc Networking: Imperatives and Challenges", Ad-Hoc Networks, Vol. 1, No. 1, pp. 13-64, 2003.
- [5] T. Issariyakul, E. Hossain and D. In Kim, "Medium Access Control Protocols for Wireless Mobile Ad hoc Networks: Issues and Approaches", Wireless Communication Mobile Computing, pp. 935-958, 2003.
- [6] R. Nelson and L. Kleinrock, "The Spatial Capacity of a Slotted ALOHA Multihop Packet Radio Network with Capture", IEEE Trans. Communication, Vol. 32, No. 6, pp. 684-694, 1984.
- [7] IEEE Standard for Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications, 1997.
- [8] P. Nicopolitidis, G.I. Papadimitriou and A. S. Pomportsis, "Distributed Protocols for Ad hoc