

دریافت مقاله: ۱۴۰۳/۰۹/۲۰

پذیرش مقاله: ۱۴۰۴/۰۱/۱۶

نوع مقاله: مروری

بررسی روش‌های ذخیره‌سازی درون شبکه‌ای در اینترنت اشیاء مبتنی بر شبکه اطلاعات‌محور

مرضیه سادات زاهدی نیا*

استادیار، دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر، دانشگاه بیرجند، بیرجند، ایران

پست الکترونیک: m.zahedinia@birjand.ac.ir

چکیده

انتقال حجم زیاد داده‌های اینترنت اشیاء از طریق شبکه منجر به ازدحام و تأخیرهای طولانی مدت می‌شود. معماری شبکه داده نامگذاری شده به عنوان طرح غالب برای پیاده‌سازی نسل جدید شبکه‌های مبتنی بر اطلاعات مطرح شده است. معماری شبکه داده نامگذاری شده، با وجود داشتن قابلیت‌های لازم برای ایجاد یک شبکه کارآمد، با چالش‌هایی هم روبرو است. یکی از بارزترین جنبه‌های لحاظ شده در تعریف این شبکه‌ها، ذخیره‌سازی درون شبکه‌ای است. این مشخصه که با هدف کاهش تأخیر ارائه شده است، می‌تواند افزایش قابلیت دسترس‌پذیری داده را بخصوص در زمان‌های خاموشی تولیدکننده اصلی داده به دنبال داشته باشد. از آنجایی که عملیات ذخیره‌سازی هم زمان با هدایت داده در شبکه انجام می‌گردد و از طرف دیگر توان پردازشی و ظرفیت حافظه در مسیرهای فعلی محدود است، چالشی برای بهره‌مندی کامل از این مشخصه ایجاد می‌شود. بر همین اساس غالب روش‌های ذخیره‌سازی متداول، برای سیستم‌های اینترنت اشیاء

مبتنی بر معماری اطلاعات‌محور مناسب نیستند. در این مقاله، ابتدا ویژگی‌های سیاست‌های جایگذاری داده در حافظه نهان گره‌های میانی برای سیستم‌های اینترنت اشیاء مبتنی بر شبکه داده نامگذاری شده بررسی و سپس روش‌های مختلف ذخیره‌سازی برای اینترنت اشیاء مبتنی بر شبکه داده نامگذاری شده ارائه شده‌اند.

واژه‌های کلیدی: اینترنت اشیاء، شبکه محتوای، سیاست‌های جایگذاری داده، حافظه نهان

مقدمه

برای دستیابی به اهداف اینترنت اشیاء، بر بستر شبکه‌های فعلی مبتنی بر IP تلاش‌های زیادی انجام گرفته است. با وجود این تلاش‌ها، همچنان چالش‌هایی برای گسترش ارتباطات اینترنت اشیاء وجود دارد. این چالش‌ها غالباً به دلیل سطح بالای ناهمگنی موجود بین میلیون‌ها دستگاه اینترنت اشیاء، حجم زیاد اطلاعات ایجاد شده توسط این دستگاه‌ها و نیز ملزومات و مشخصات متفاوت موردنیاز کاربردهای مختلف اینترنت اشیاء است [۱]. با

* نویسنده مسئول

توجه به این که معماری مبتنی بر IP، میزبان محور است، لازم است به هر دستگاه یک نشانی IP تخصیص داده شود. همان طور که فضای نشانی دهی IPv4 محدود است، فضای نشانی دهی IPv6 نیز با محدودیت ها و چالش هایی روبه روست. علاوه بر این، چون نشانی IP به طور هم زمان هم به عنوان مشخصه^۱ و هم مکان یاب استفاده می شود، سر بار زیادی را به شبکه تحمیل می کند. عدم تطابق معماری مبتنی بر IP برای پشتیبانی از ملزومات اصلی اینترنت اشیاء از قبیل: مقیاس پذیری، کارایی از نظر مصرف انرژی، امنیت، پشتیبانی از حجم زیاد داده و تحرک، علت نامناسب بودن این شبکه ها و نیاز به ارائه معماری های جدید و جایگزین می باشد [۶، ۱۶].

بر اساس نیاز به معماری جدید برای سیستم های اینترنت اشیاء، ایده هایی با هدف توزیع کارآمد محتوا بیان شده است. شبکه داده محور مدل ارتباطی جدیدی است که با مرکزیت دادن به اطلاعات به عنوان یک راه حل مناسب برای رفع چالش های موجود در معماری میزبان محور فعلی ارائه شده است [۳]. تمرکز اصلی در این نوع معماری روی خود داده است. هدف اصلی این معماری، توزیع قابل اطمینان داده در داخل شبکه است. به همین منظور به هر بخش از داده، یک نام منحصر به فرد، ثابت و مستقل از مکان تخصیص داده می شود. با نامگذاری داده ها، مسیریابی و هدایت آنها مبتنی بر نام انجام می گیرد. یکی از ویژگی های مهم معماری داده محور، ذخیره سازی درون شبکه ای است که مزایای متعددی از قبیل افزایش دسترسی پذیری داده و کاهش تاخیر را می تواند فراهم کند [۴].

در شبکه های داده محور ارتباطات از طریق مبادله دو بسته^۲ علاقه و داده انجام می شود (شکل ۱). منظور از بسته علاقه همان بسته درخواست برای یک داده است. گره مصرف کننده با ارسال یک پیام علاقه، داده مشخص شده در پیام را از شبکه درخواست می کند، بدون این که نشانی از خود ذکر کند. مصرف کننده، نام داده را در بسته

علاقه قرار می دهد و بسته را به شبکه ارسال می کند. در داخل شبکه، بسته بر اساس نام داده و ساختارهای تعریف شده در هر گره، هدایت می شود. بسته داده، علاوه بر این که حاوی داده است، نام داده درخواستی را نیز ذخیره می کند. یک امضای دیجیتال که توسط تولید کننده داده ایجاد شده است، ممکن است به انتهای بسته اضافه شود تا اعتبار داده، تضمین گردد. بسته داده، برای رسیدن به مصرف کننده، عکس همان مسیری را که بسته علاقه طی کرده است تا به تولید کننده داده برسد، طی خواهد کرد [۵]

بسته داده	بسته درخواست
نام	نام
انتخاب کننده ها (اولویت در ترتیب، فیلترهای انتشار، فیلترهای حذف، ...)	اطلاعات اضافی (نوع محتوا، دوره به روز رسانی، ...)
برجسب یکبار مصرف	محتوا
راهنماها (محدوده، زمان اعتبار درخواست)	امضا (نوع امضا، مکان یاب کلید، بیت های امضا، ...)

شکل ۱: بسته داده و علاقه

استفاده از سازوکار ذخیره سازی در اینترنت اشیاء مبتنی بر شبکه اطلاعات محور، به منظور توزیع داده ها به سمت دستگاه های انتهایی ضروری است. حجم زیاد داده های موقتی اینترنت اشیاء و حساسیت بالا نسبت به تاخیر در برخی از کاربردهای اینترنت اشیاء مانند بهداشت و ترافیک، اهمیت استفاده از روش های کارآمد برای عملیات ذخیره سازی در اینترنت اشیاء مبتنی بر شبکه اطلاعات محور را افزایش می دهد. اگرچه ذخیره سازی به طور ذاتی مفید است، زیرا سرعت دستیابی به داده ها و دسترسی پذیری آنها را افزایش می دهد. اما رویکرد ذخیره سازی و عملیات مربوط به آن مانند جایگذاری و جایگزینی داده از نظر پردازی و مصرف انرژی نسبتاً پرهزینه است [۶]. بنابراین، یک مسئله مهم این است که آیا باید در تمام دستگاه های اینترنت اشیاء امکان ذخیره سازی داده فراهم شود یا فقط در گره هایی که توان بالاتری دارند. یک راه حل ساده این است که در دستگاه های دارای محدودیت، ذخیره سازی اعمال نشود [۷]. اگرچه در مرجع

1-Identifier
2-Interest

داده‌های حسگر حرکت:

- در سیستم‌های امنیتی، حسگرهای حرکت می‌توانند اطلاعاتی راجع به حضور یا عدم حضور افراد در یک فضا ارائه دهند. این داده‌ها معمولاً برای چند ثانیه یا چند دقیقه کاربرد دارند و پس از آن نیاز به ذخیره‌سازی ندارند.

داده‌های ثبت تردد وسایل نقلیه:

- حسگرهای نصب شده بر روی وسایل نقلیه که طی زمان خاصی داده‌های مربوط به سرعت و موقعیت آنها را جمع‌آوری می‌کنند. این داده‌ها فقط برای تجزیه و تحلیل ترافیک یک زمان مشخص مورد استفاده قرار می‌گیرد و پس از آن کاربردی نخواهند داشت.

داده‌های سلامت:

- دستگاه‌های پوشیدنی که داده‌های مربوط به ضربان قلب، فشارخون و فعالیت‌های بدنی را در طول روز ثبت می‌کنند. این داده‌ها معمولاً برای یک بازه زمانی موقتی مورد تجزیه و تحلیل قرار می‌گیرند و بعد از گذشت زمان به روز رسانی می‌شوند.

داده‌های ترافیکی:

- حسگرهای ترافیکی که اطلاعات مربوط به حجم و جریان ترافیک را در زمان واقعی جمع‌آوری می‌کنند. این داده‌ها برای مدیریت ترافیک و ارائه زمان واقعی به رانندگان استفاده می‌شوند، اما پس از گذشت زمان طولانی کاربرد و اعتباری نخواهند داشت.

علاوه بر موقتی بودن داده‌ها، حجم زیاد داده و محدود بودن فضای حافظه دسترس برای ذخیره‌سازی در گره‌های شبکه اطلاعات‌محور، دلیل دیگر عدم همخوانی روش‌های سنتی متعدد در زمینه بهینه کردن حافظه نهان برای سیستم‌های اینترنت اشیا است.

فاکتورهای متعددی در کارایی حافظه نهان تاثیر دارد

[۸] ثابت شده است که حتی اگر در تمام گره‌ها با حافظه محدود هم ذخیره‌سازی تمام داده‌ها انجام شود، باز هم ذخیره‌سازی به صرفه است و مزایای زیادی به همراه دارد. چون ذخیره‌سازی با کاهش بار شبکه و مصرف انرژی، تعداد پرش‌ها تا دستیابی به داده را کاهش می‌دهد. برای بهبود کارایی ذخیره‌سازی مطالعات زیادی از گذشته تاکنون انجام شده است. البته غالب روش‌های ذخیره‌سازی متداول که برای ذخیره‌سازی در وب ارائه شده اند، محدودیت‌ها و ویژگی‌های موجود در شبکه‌های اینترنت اشیا را در نظر نمی‌گیرند. در بخش بعد، تفاوت روش‌های قدیمی ذخیره‌سازی و دلایل نامناسب بودن آنها برای سیستم‌های اینترنت اشیا بیان شده است.

۲. تفاوت روش‌های ذخیره‌سازی سنتی و

روش‌های ذخیره‌سازی شبکه اطلاعات‌محور

حافظه نهان درون شبکه‌ای، با توزیع داده‌ها مانع از هدررفتن انرژی و مبادلات پیام غیرضروری می‌گردد. علاوه بر این، دسترس‌پذیری داده را افزایش می‌دهد، بخصوص در زمان‌هایی که تولیدکننده اصلی داده در وضعیت خواب^۳ است. در کنار مزایای متعدد ناشی از حافظه نهان در شبکه، چالش‌هایی برای بهبود کارایی حافظه نهان شامل جایگذاری داده‌ها و نیز جایگزینی داده‌ها، به ویژه در سیستم‌های اینترنت اشیا وجود دارد [۹]. به عبارت دیگر، به دلیل خصوصیات ذاتی داده‌ها و دستگاه‌های اینترنت اشیا، روش‌های معمول ذخیره‌سازی برای داده‌های چندرسانه‌ای، در این گونه سیستم‌ها قابل اعمال نیست.

داده‌های اینترنت اشیا غالباً طول عمر محدودی دارند و پس از آن نامعتبر می‌شوند. اصطلاحاً این داده‌ها موقتی‌اند، چون مرتباً با مقادیر جدید بروزرسانی می‌شوند. موارد زیر مثال‌هایی از داده‌های موقت اینترنت اشیا هستند:

جدول ۱: مقایسه ذخیره‌سازی وب و ذخیره‌سازی در اینترنت اشیاء مبتنی بر شبکه اطلاعات محور

ذخیره‌سازی وب	ذخیره‌سازی ICN-IoT	
لایه کاربرد	لایه شبکه	لایه
ثابت و از پیش تعیین شده	فراگیر در تمام گره‌ها	موقعیت حافظه نهان
بله	خیر	شفافیت (مستقل از برنامه)
غیر موقت	موقت	داده
زیاد	محدود	ظرفیت حافظه نهان
زیاد	محدود	توان پردازشی
بدون محدودیت	محدود به دلیل همزمانی با هدایت داده	سرعت تصمیم‌گیری برای ذخیره‌سازی

که شامل: ابعاد حافظه نهان، سیاست‌های تصمیم‌گیری برای جایگذاری و جایگزینی در حافظه نهان، موقعیت مکانی حافظه نهان و دسترس‌پذیری محتواهای ذخیره شده است [۳۶، ۴۴]. عملکرد ذخیره‌سازی در هر گره شبکه اطلاعات محور شامل سیاست‌های جایگذاری و جایگزینی است. زمانی که داده در مسیر تحویل به مصرف‌کننده، توسط گره‌های میانی دریافت می‌شود، در هر گره تصمیم‌گیری برای جایگذاری داده انجام می‌شود که آیا داده در مخزن محتوای گره ذخیره شود یا نه [۱۲]. سیاست‌های جایگزینی زمانی که فضای مخزن محتوا پر شده است برای تعیین داده‌ای که لازمست حذف شود، استفاده می‌گردد. در شبکه‌های اطلاعات محور، غالباً از سیاست جایگزینی LRU^۴ استفاده می‌شود.

مطالعات زیادی در رابطه با روش‌های جایگذاری و جایگزینی در حافظه نهان به طور کلی در وب انجام شده است [۳۶، ۴۱، ۴۲]، [۴۵-۴۸]. اما فقط در چند مورد محدود، محدودیت‌ها و خصوصیات سیستم‌های اینترنت اشیاء مبتنی بر شبکه اطلاعات محور لحاظ شده است [۱۸]. به دلیل تفاوت‌های موجود بین ذخیره‌سازی در شبکه‌های اطلاعات محور و روش‌های قبلی ذخیره‌سازی [۱۹] و همچنین مشخصات سیستم‌های اینترنت اشیاء، روش‌های ذخیره‌سازی ارائه شده در وب برای شبکه‌های اینترنت اشیاء مبتنی بر شبکه اطلاعات محور کارا نیستند. این تفاوت‌ها در جدول ۱ به صورت مختصر ذکر شده‌است.

اکثریت روش‌های ارائه شده برای فایل‌های چندرسانه‌ای و یا اندازه بزرگ هستند که مرتباً توسط کاربران درخواست می‌شوند. همچنین، برخی روش‌ها که نیاز به هماهنگی^۵ و ارتباط بین گره‌ها دارند یا به عبارت دیگر نیاز به مبادله پیام^۶ زیادی دارند، و در نتیجه سربار زیادی به شبکه تحمیل می‌کنند، برای دستگاه‌های اینترنت اشیاء با منابع محدود مناسب نیستند. اخیراً ویژگی موقتی بودن برخی از داده‌های اینترنت اشیاء و چگونگی ذخیره‌سازی این داده‌ها مطرح شده است که توسط گروه پژوهشی شبکه‌های اطلاعات محور^۷ و تحت IRTF^۸ پشتیبانی شده است [۲۰].

۳. دسته‌بندی روش‌های ذخیره‌سازی

ساده‌ترین روش برای جایگذاری داده، روش CE^۲ است، که به صورت پیش‌فرض در معماری شبکه داده محور استفاده می‌شود. به این صورت که هر داده‌ای که به گره وارد می‌شود، بدون انجام تصمیم‌گیری برای جایگذاری، در مخزن محتوای آن گره ذخیره می‌شود. واضح است که روش CE^۲ کارایی چندانی ندارد، زیرا استفاده درستی از منابع ذخیره‌سازی موجود در شبکه نمی‌کند، ضمن این که افزونگی بالایی دارد [۲۱]. در مقالات زیادی به این نکته اشاره شده است که روش ذخیره‌سازی همگانی، چندان روش مناسبی نیست [۲۲]. چون این روش هم سطح بالایی

5- coordination

6- signaling

7- Information centric networking research group(ICNRG)

8- Internet Research Task Force

9-Application layer

4- Least Recently Used

اشیاء توسط وورال^{۱۱} انجام شد [۱۳]. در این مطالعه، ذخیره‌سازی داده‌های اینترنت اشیاء در مسیر یاب‌های اینترنت به صورت تحلیلی بررسی شده است و مدلی برای تحلیل مصالحه^{۱۲} موجود بین هزینه ارتباط چندپرسی^{۱۳} و مقدار تازگی داده ارائه شده است. نویسندگان این کار، الگوریتم ذخیره‌سازی مبتنی بر احتمال ارائه دادند که مسیر یاب‌ها به صورت پویا احتمال ذخیره‌سازی خود را محاسبه می‌کنند. محاسبه احتمال ذخیره‌سازی برای یک داده، با استفاده از دو مشخصه داده شامل (مقدار تازگی و نرخ درخواست‌های ورودی) و نیز مشخصه موقعیت گره تصمیم گیرنده در شبکه انجام می‌شود. براساس نتایج حاصل، استفاده از حافظه نهان داخل شبکه در مقایسه با عدم استفاده به طور قابل توجهی هزینه ارتباط را بهبود می‌دهد. روش ارائه شده، به توان پردازشی بالایی نیاز دارد و در شرایط محدودیت منابع دستگاه‌های اینترنت اشیاء نامناسب است. علاوه بر این، چون مبتنی بر موقعیت گره در شبکه است، برای دستگاه‌های ثابت^{۱۴} قابل استفاده است.

بسیل^{۱۵} و همکارانش، نخستین کار تجربی برای پیاده‌سازی اینترنت اشیاء مبتنی بر شبکه داده‌محور را برای چندین دستگاه اینترنت اشیاء با سیستم عامل RIOT مستقر در یک ساختمان بزرگ و چند طبقه انجام دادند [۳]. آنها محدودیت فضای ذخیره‌سازی در مسیر یاب‌ها را در نظر گرفتند و به همین دلیل اندازه حافظه نهان قابل استفاده برای داده‌ها در گره‌های شبکه داده‌محور را حداکثر یک کیلو بایت لحاظ کردند. نتیجه این کار نشان می‌دهد، استفاده از حافظه نهان حتی در ساده‌ترین روش یعنی همواره ذخیره‌سازی^{۱۶} و با وجود محدودیت اندازه حافظه نهان، مفید است و باعث کاهش مصرف انرژی و افزایش دسترس‌پذیری داده می‌شود. مطالعه مذکور، همچنین مناسب بودن معماری

از افزونگی را ایجاد می‌کند و هم بهره‌وری خوبی برای استفاده از منابع حافظه نهان در دسترس ندارد. [۲۲] به عبارت دیگر، هر داده عبوری در تمام گره‌های مسیر ذخیره می‌شود، که این استفاده نادرست از فضای ذخیره‌سازی موجود در شبکه است. در این روش به خصوصیات داده و به محدودیت فضای ذخیره‌سازی گره‌ها توجهی نمی‌شود. در روش مبتنی بر احتمال [۱۶]، ذخیره‌سازی براساس یک احتمال ثابت و از پیش تعیین شده یا یک احتمال متغیر^{۱۰} هنگام دریافت داده ورودی انجام می‌گردد. این احتمال متغیر می‌تواند به صورت تصادفی و یا براساس مشخصه‌ای مانند محبوبیت داده تعیین گردد. برخی از برنامه‌های اینترنت اشیاء به محتوای ترکیبی از تولیدکننده‌های چندگانه یا منفرد نیاز دارند، مانند ترافیک هوشمند. مالک خودرو ممکن است به وضعیت ترافیک پیشرو، دمای آن منطقه، مکان دقیق وسیله نقلیه و نقشه به سمت مقصد علاقه‌مند باشد. بنابراین، روش‌های ذخیره‌سازی مبتنی بر شبکه اطلاعات‌محور برای سیستم‌های اینترنت اشیاء باید شامل عواملی برای مقابله با این الزامات برنامه نیز باشد. در این زمینه، انتساب احتمال تصادفی می‌تواند باعث ایجاد تنوع در محتوای ذخیره شده گردد.

در مرجع [۲۳] نویسندگان شبکه داده‌محور را برای اینترنت اشیاء پیاده‌سازی کرده‌اند و از روش‌های ذخیره‌سازی همیشه و احتمالی (با $p=0.5$) استفاده کرده‌اند. الگوریتم‌های جایگزینی LRU و تصادفی به عنوان سیاست‌های جایگزینی حافظه نهان اعمال شده‌اند. روش ذخیره‌سازی احتمالی و سیاست جایگزینی LRU، تنوع محتوا در شبکه اینترنت اشیاء را تضمین کرده است که از الزامات مهم اینترنت اشیاء هستند.

در سیستم‌های اینترنت اشیاء مبتنی بر شبکه اطلاعات‌محور باید روش‌های ذخیره‌سازی با در نظر گرفتن ویژگی موقتی بودن داده‌ها طراحی شود [۲۴]. البته ممکن است عوامل دیگری نیز در تصمیم‌گیری لحاظ شود. اولین بررسی، برای ذخیره‌سازی داده‌های موقت اینترنت

11-Vural

12-Tradeoff

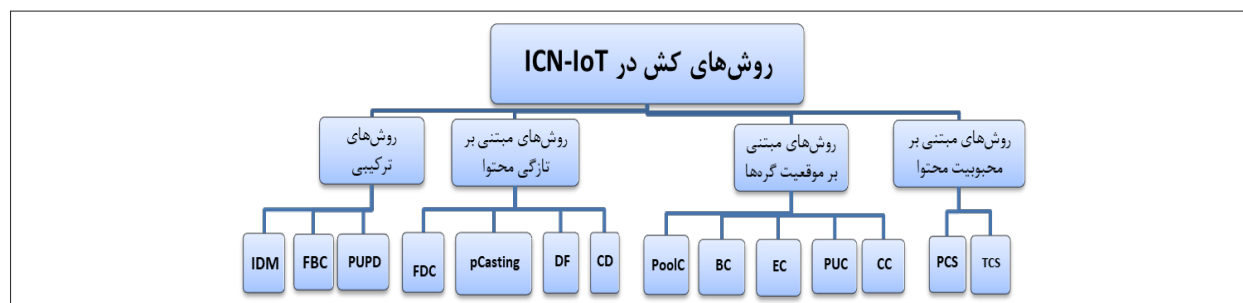
13-Multi hop

14-Static

15-Baccel

16-Always caching

10-Dynamic



شکل ۲: دسته‌بندی روش‌های ذخیره‌سازی ICN-IoT

نهان موجود استفاده نمی‌شود. البته این روش‌ها پیچیدگی کمتری دارد و بار کمتری به سیستم اعمال می‌کند.

از طرف دیگر محبوبیت غیرایستا، براساس تعداد درخواست‌های کاربران در یک بازه زمانی کوتاه متناوباً تعیین می‌گردد. الگوریتم‌های ذخیره‌سازی با محبوبیت غیرایستا، درخواست‌های اخیر مربوط به قبل از بازه زمانی تعیین شده را شامل می‌شود. به این ترتیب می‌تواند بهتر از ظرفیت حافظه نهان موجود استفاده کند. واضح است که محبوبیت محتوا در طول زمان تغییر می‌کند. این روش‌ها به منظور کاهش پیچیدگی غالباً فقط آمار درخواست‌های مربوط به آخرین بازه زمانی را در نظر می‌گیرند. بازه زمانی برای بروزرسانی مقادیر محبوبیت، می‌تواند براساس نرخ کل درخواست‌هایی که مسیریاب‌ها دریافت می‌کنند و مقدار محبوبیت محتوا تعیین شود. یک ایراد این روش‌ها، مقایسه مداوم نرخ درخواست محتوا است. اگر بازه به‌روزرسانی محبوبیت کوتاه انتخاب شود سربار زیادی به همراه خواهد داشت. اگرچه با انتخاب بازه زمانی طولانی‌تر سربار کاهش می‌یابد، اما تنها برای الگوهای درخواست پایدار مناسب است.

اغلب برنامه‌های کاربردی اینترنت اشیا محدودیت‌هایی برای خصوصیات محتوا لحاظ می‌کنند. بر این اساس روش‌هایی مبتنی بر خصوصیات محتوا ارائه شده است. ایده اصلی در روش‌های ذخیره‌سازی مبتنی بر محبوبیت بر این اساس است، که داده‌ها با محبوبیت بالاتر در نزدیکی مصرف‌کننده‌ها (کاربران) ذخیره شوند و داده‌ها با محبوبیت کمتر در مسیریاب‌های میانی یا در نزدیکی

شبکه داده‌محور برای سناریوهای اینترنت اشیا و پشتیبانی از ملزومات اینترنت اشیا را نشان می‌دهد.

دسته‌بندی‌هایی برای روش‌های ذخیره‌سازی در اینترنت اشیا مبتنی بر معماری اطلاعات‌محور در مقالات مروری مرتبط ارائه شده است. در یک دسته‌بندی می‌توان این روش‌ها را به ۴ گروه تقسیم کرد: روش‌های مبتنی بر محبوبیت محتوا، روش‌های مبتنی بر موقعیت، روش‌های مبتنی بر تازگی و روش‌های ترکیبی. منظور از روش‌های ترکیبی، روش‌هایی است که براساس ترکیبی از دو یا چند مشخصه داده یا گره هستند.

۳-۱. روش‌های ذخیره‌سازی مبتنی بر محبوبیت محتوا

روش‌های متعددی بر مبنای محبوبیت محتوا توسط محققان ارائه شده است. محبوبیت محتوا، براساس فراوانی درخواست‌های مصرف‌کنندگان برای هر محتوا تعیین می‌گردد [۲۲]. روش‌های این گروه به دو دسته، محبوبیت ایستا^{۱۷} یا محبوبیت غیرایستا^{۱۸} تقسیم می‌شود. در روش‌های ذخیره‌سازی مبتنی بر محبوبیت ایستا، تعریف یک مقدار آستانه خاص^{۱۹} برای درخواست‌های کاربران ضروری است. تا براساس آن، تعیین شود که کدام محتوا محبوب است [۵۰-۵۲]. این روش‌ها چون غالباً براساس محاسباتی هستند که به‌روز^{۲۰} نمی‌باشند، غیرواقع‌بینانه‌اند. چون نتایج و محاسبات آنها نمی‌تواند شامل درخواست‌های اخیر کاربران باشد، بنابراین به درستی از ظرفیت حافظه

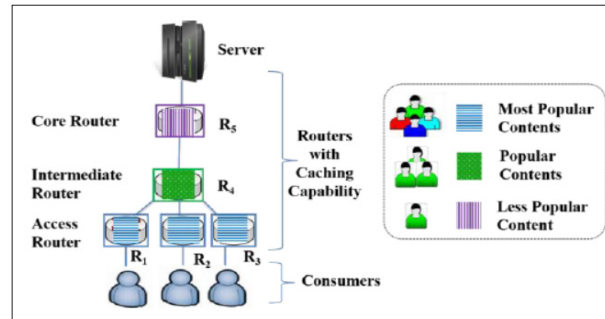
17-Static
18-Dynamic
19-Threshold
20-Update

ذخیره شدن یا نشدن داده تعیین گردد. چون هر محتوا توسط مجموعه‌ای از برچسب‌ها شناسایی می‌شود، لازم است که ساختارهای FIB، CS و PIT تا حدودی تغییر کنند: TCS^{۲۳}: در این ساختار، برچسب‌های شناسایی‌کننده هر محتوا در ستون مستقلی ذخیره می‌شود. با استفاده از لیست برچسب‌ها، یک فیلتر برچسب ایجاد می‌گردد. زمانی که محتوای جدیدی ذخیره می‌شود یا محتوای قبلی از حافظه نهان حذف می‌گردد، لیست برچسب به‌روزرسانی می‌شود. زمان دریافت درخواست جدید، فیلتر برچسب تعیین می‌کند که آیا درخواست می‌تواند به صورت محلی پاسخ‌دهی گردد یا خیر.

TFIB^{۲۴}: این ساختار همانند FIB اطلاعات پرش بعدی برای هدایت بسته‌ها را ذخیره دارد. اما FIB در شبکه داده‌محور معمولی مبتنی بر پیشوند ۲۵ نام داده است و چون ممکن است در برخی از شبکه‌ها پیشوند نام داده‌ها طولانی باشد، بنابراین پردازش و جستجو در FIB زمان‌بر می‌گردد. این چالشی است که برخی از محققان اخیراً به آن پرداخته‌اند. در ساختار ارائه شده مبتنی بر برچسب، FIB مجموعه‌ای از برچسب‌ها را برای هر رکورد ذخیره می‌کند. به این ترتیب با ذخیره برچسب‌ها، زمان جستجو کاهش می‌یابد. علاوه بر این برای هر رکورد، یک فیلتر برچسب نیز نگهداری می‌شود. هنگام تعیین مقصد بعدی، هر گره فیلتر برچسب خود را استفاده می‌کند تا به طور مستقل تصمیم بگیرد که بسته داده را به کدام مقصد هدایت کند [۲۷، ۴۰].

TPIT^{۲۵}: این ساختار علاوه بر مواردی که در PIT معمولی ذخیره می‌شود، برچسب‌های مربوط به درخواست‌های پاسخ‌دهی نشده را نیز در بخش مربوطه ذخیره می‌کند. وقتی محتوایی به گره وارد می‌شود، ابتدا نام آن در رکوردهای PIT جستجو می‌شود. اگر مطابق با نام محتوا، درخواست پاسخ‌دهی نشده‌ای در PIT

تولیدکننده ذخیره شوند. به این ترتیب نرخ برخورد ذخیره‌سازی، افزایش می‌یابد. از طرف دیگر تاخیر بازیابی داده و نیز بار سمت تولیدکننده کاهش می‌یابد. در شکل ۳



شکل ۳: اساس کار روش‌های ذخیره‌سازی مبتنی بر محبوبیت

۳-۱-۱ روش ذخیره‌سازی مبتنی بر محبوبیت با استفاده از برچسب^{۲۱}

در این روش که براساس نرخ درخواست‌های دریافت شده برای داده‌ها است، تمام گره‌های شبکه نوع خاصی از لیست برچسب‌ها را در اختیار دارند. این لیست‌ها برای شناسایی محتواهایی که مرتباً درخواست می‌شوند و محبوبیت بالاتری دارند، مورد استفاده قرار می‌گیرند. پس از شناسایی محتواهای محبوب، آن‌ها در گره‌های میانی شبکه ذخیره می‌شوند. لیست برچسب‌ها، فیلترهای برچسبی ارائه می‌دهد که برای تولید تابع درهم‌ساز^{۲۲} یا نگاشت استفاده می‌گردد. زمانی که یک درخواست از مصرف‌کننده‌ای به یکی از گره‌های شبکه می‌رسد، براساس فیلتر برچسب مربوطه تصمیم‌گیری انجام می‌شود که آیا داده در مخزن محتوای گره ذخیره شود یا نه. همه برچسب‌ها نگاشت می‌شوند و توسط یک شمارنده شمارش می‌شوند تا داده‌های با محبوبیت بالا مشخص گردند. اگر شمارنده برچسب بالاتر از حد آستانه لحاظ شده باشد، داده به عنوان محبوب تعیین می‌شود و در گره‌های میانی ذخیره می‌شود.

در این روش تمام گره‌های شبکه در طول مسیر تحویل داده، برچسب‌ها را بررسی می‌کنند تا مکان مناسب برای

23-Tag- assisted CS

24-Tag- assisted FIB

25-Prefix

26-Tag- assisted PIT

21-Tag

22-Hash function

مقدار آستانه بیشتر باشد، محتوا به عنوان محتوای محبوب شناخته می‌شود. همه محتواهای محبوب، ابتدا در گره‌های لبه سیستم خودگردان مربوطه ذخیره می‌شود. تا زمانی که حافظه نهان‌های این گره‌ها پر شود، سپس از سیاست جایگزینی تصادفی استفاده می‌کنند تا محتوایی برای حذف شدن انتخاب گردد. دلیل انتخاب این روش جایگزینی، پیچیدگی محاسباتی پایین آن است. به این ترتیب سربار ناشی از انتخاب و حذف محتوا تقریباً حداقل می‌گردد. البته داده‌ای که از حافظه نهان گره لبه در هر سیستم مستقل حذف می‌شود، در یک گره مناسب که براساس روش مرکزیت^{۲۹} (BC) تعیین می‌شود، مجدداً ذخیره می‌گردد [۴۶، ۵۴]. براساس روش BC، گرهی که بیشترین تعداد عبور داده‌ها در زمان پاسخ‌دهی به درخواست‌ها مربوط به آن است برای ذخیره‌سازی انتخاب می‌شود. در ارائه این روش سه هدف اصلی مورد توجه نویسندگان مقاله بوده است: ۱. نرخ برخورد حافظه نهان ارتقاء یابد. ۲. نرخ حذف داده‌ها حداقل گردد و به تبع آن تأخیر دستیابی به داده کاهش یابد. ۳. استفاده بهینه از پهنای باند [۳۰].

روش مذکور از پیاده‌سازی سیستم‌های مستقل ۳۰ استفاده می‌کند تا کل شبکه به چندین ناحیه کوچک تقسیم گردد. به این ترتیب محتواهایی که محبوب و مطلوب کاربران هر منطقه هستند، در گره‌های لبه یا گره‌های با مرکزیت بالا در همان منطقه ذخیره می‌شوند.

۲-۳ روش‌های ذخیره‌سازی مبتنی بر موقعیت

اساس کار این روش‌ها برپایه انتخاب گره‌های خاصی است که در مقایسه با دیگر گره‌ها احتمالاً نرخ برخورد حافظه نهان بالاتری دارند. این روش‌ها را می‌توان به طور کلی به دو دسته مبتنی بر توپولوژی و مبتنی بر همسایگی تقسیم کرد. روش‌های مبتنی بر توپولوژی که غالباً از مجموعه‌ای از معیارهای استاندارد تعیین مرکزیت گرافی برای انتخاب گره‌های ذخیره‌کننده استفاده می‌کنند.

موجود باشد. برچسب‌های محتوای دریافتی (T_{con}) با برچسب‌های رکورد مربوطه در PIT مقایسه می‌شود و اگر زیرمجموعه‌ای از (T_{con}) باشد، با هدایت این محتوا درخواست مربوط به آن رکورد پاسخ‌دهی می‌گردد. در این مدل زمانی که درخواست جدیدی دریافت می‌شود، مجموعه برچسب‌های آن (T_{int}) با مجموعه برچسب‌های رکوردهای PIT مقایسه می‌شود. در صورتی که با یکی از آنها یکسان باشد و یا زیرمجموعه‌ای از آن‌ها باشد، تنها فرستنده درخواست به لیست آن رکورد اضافه می‌گردد. در غیر این صورت، یک رکورد جدید متناسب با درخواست دریافت شده به PIT اضافه می‌گردد [۲۸].

به این ترتیب با ارائه این ساختارهای جدید، گره‌ها می‌توانند درخواست‌ها یا محتواهای دریافتی را بررسی و پردازش کنند. علاوه بر این نویسندگان این مقاله، برای کاهش زمان جستجو در FIB و CS فیلتر برچسب را پیشنهاد داده‌اند. آنها با استفاده از برچسب‌های محتوا و فیلتر برچسب، جستجو را انجام می‌دهند که در مقایسه با نام‌های عموماً طولانی شبکه داده‌محور زمان کمتری نیاز دارد.

۳-۱-۲ روش ذخیره‌سازی دوره‌ای^{۲۷}

این روش دسترس‌پذیری داده‌های محبوب را با توزیع محتوا در شبکه افزایش می‌دهد. هدف اصلی روش دوره‌ای افزایش نرخ برخورد همراه با کاهش تأخیر بازایی داده است. برای دستیابی به این هدف، به دنبال کاهش طول مسیر مصرف‌کننده تا تولیدکننده داده است. برای هر گره شبکه، یک جدول آماری در نظر گرفته می‌شود که نام محتوا، شمارنده فرکانس درخواست‌ها و یک مقدار آستانه را ذخیره می‌کند. علاوه بر این، کل شبکه به صورت چندین سیستم خودگردان^{۲۸} در نظر گرفته می‌شود. هر گره به طور محلی تعداد درخواست‌های ورودی برای هر محتوا را شمارش می‌کند و در جدولی همراه با نام محتوا ذخیره می‌گردد. در صورتی که تعداد درخواست‌های محتوایی از

29-Betweenness Centrality
30-Autonomous System

27-Periodic Caching Scheme (PCS)
28-Autonomous system

این معیارها در شبکه‌های اجتماعی هم برای تعیین گره‌های با اهمیت، یعنی گره‌هایی در شبکه که از نظر توپولوژی اتصال بالایی دارند، استفاده می‌شوند و شامل درجه^{۳۱}، نزدیکی^{۳۲} و مرکزیت ... هستند.

در روش‌هایی که از معیار درجه استفاده می‌کنند، غالباً داده در گره‌هایی در مسیر بازگشت ذخیره می‌شوند، که تعداد اتصالات مستقیم بالایی دارد. گره‌هایی که درجه بالایی دارند شامل تعداد زیادی گره در محدوده نزدیکی خود می‌باشند. معیار نزدیکی برای هر گره، میانگین طول کوتاه‌ترین مسیرها بین گره مذکور و سایر گره‌های نمودار را مشخص می‌کند و ذخیره‌سازی داده در گره‌های موجود در مسیر با مقدار نزدیکی بالا انجام می‌شود. معیار مرکزیت برای هر گره، براساس تعداد کوتاه‌ترین مسیرها بین تمام جفت گره‌های شبکه که از گره موردنظر عبور می‌کنند، تعیین می‌شود. برای روش‌های مبتنی بر مرکزیت، گرهی در مسیر تحویل داده که بالاترین مقدار مرکزیت را داشته باشد، داده را ذخیره می‌کند [۳۶، ۴۱، ۵۶].

۲-۲-۳ روش ذخیره‌سازی به‌روزرسانی بسته^{۳۴} (PUC)

برای ارتقاء ذخیره‌سازی در سیستم‌های اینترنت اشیا مبتنی بر شبکه اطلاعات محور روش PUC ارائه شده است. در این روش، ذخیره‌سازی محتوا براساس خوشه‌بندی مجموعه‌ای از گره‌ها با ویژگی‌ها و منابع مختلف است که برای اجرای وظایفی مانند پردازش موازی^{۳۷} و تعادل بار^{۳۸} با یکدیگر همکاری می‌کنند. هر خوشه شامل سرخوشه و عضو خوشه است. سرخوشه برای انجام عملیات ذخیره‌سازی در هر خوشه تعیین می‌گردد. سرخوشه به عنوان یک واسط بین ایستگاه اصلی و گره‌های میانی عمل می‌کند، که امکان انتقال بسته‌های درخواست‌های کاربران و بسته محتوا را فراهم می‌کند. از طرف دیگر عضو خوشه برای انتقال درخواست‌های کاربر و محتوا از سرخوشه به کاربران استفاده می‌گردد [۳۳].

۱-۲-۳ روش ذخیره‌سازی مشتری^{۳۳} (CC)

در این روش اعتبار محتواهای ذخیره شده بررسی می‌شود تا محتواهایی که برای ذخیره‌سازی در آینده مناسب‌تر هستند، شناسایی شوند. سازوکار ذخیره‌سازی و انتخاب محتوای این روش مبتنی بر سه فرض اصلی ارائه شده است. فرض اول، روش ذخیره‌سازی روی مسیر عبور داده است، تا داده‌ها در گره‌های شبکه موجود در مسیر درخواست‌دهنده ذخیره شوند. به این ترتیب نیازی به ارسال اطلاعات اضافه برای اطلاع دادن به گره‌های شبکه به منظور تصمیم‌گیری در مورد انتخاب مکان‌های حافظه نهان مناسب نخواهد بود. فرض دوم، انتخاب گرهی مناسب است تا فاصله بین کاربران درخواست‌دهنده و محتواهای ذخیره شده کاهش یابد. ضمن این که تعداد گره‌های ذخیره‌سازی نیز کاهش می‌یابد. در انتها، فرض سوم که روش براساس آن بنا شده است، انتخاب مکان

در این روش، سرخوشه بر اساس سه عامل انتخاب می‌شود: تعداد همسایگان، انرژی باقیمانده و فاصله بین گره‌های درخواست‌کننده و ایستگاه اصلی. بارکاری هر گره با اندازه‌گیری درجه، ظرفیت و سطح توان گره تعیین می‌شود. از بارکاری برای یافتن سرخوشه استفاده می‌شود و سرخوشه به عنوان میانگیری برای ذخیره

34-Event

35-Life time

36-Packet Update Caching(PUC)

37-Parallel processing

38-Load balancing

31-Degree

32-Closeness

33-Client Caching Scheme

مربوطه هدایت می‌شود.

با توجه به این که در این روش، حافظه‌های نهان موجود در هر مجموعه مسیریاب را به عنوان یک منبع ذخیره‌سازی تلفیقی مدیریت و کنترل می‌شود، لازم است یک خوشه‌بندی از گره‌های شبکه انجام گردد. به این ترتیب، هیچ افزونگی حافظه نهان در داخل خوشه اتفاق نمی‌افتد و تعداد بیشتری از محتویات مختلف می‌تواند در داخل شبکه ذخیره شود. براساس یک تکنیک درهم‌سازی که نام داده را به یک گره در مجموعه یا خوشه نگاشت می‌کند. در هر خوشه تنها یک گره امکان ذخیره‌سازی داده را در حافظه نهان خود دارد. به این گره نام مشخصی تخصیص داده می‌شود. این نام به عنوان یک حوزه جدید در بسته علاقه و داده اضافه می‌شود [۳۴].

ارزیابی روش با استفاده از سیاست جایگزینی LRU انجام شده و نتایج به دست آمده نشان می‌دهد که روش مذکور در مقایسه با روش‌های بررسی شده بهتر عمل می‌کند. همچنین تنوع حافظه نهان بالا را به همراه دارد. البته پیاده‌سازی این روش نیاز به پردازش بالایی دارد که با توجه به محدودیت توان پردازشی مسیریاب‌ها به نظر عملی نمی‌باشد. علاوه بر روش‌های ذکر شده، روش‌های رایج دیگری شامل EC^{۳۹}، LCD^{۴۰}، LCE^{۴۱} و BC نیز ارائه شده است. شکل ۸ این روش‌ها را به طور ساده نشان می‌دهد. LCE همان روش ذخیره‌سازی همگانی است که یک کپی از داده در تمامی گره‌های میانی موجود در مسیر عبور داده ذخیره می‌شود. در روش LCD، کپی از داده تنها در گرهی که در یک سطح پایین‌تر از تولیدکننده داده قرار دارد، ذخیره می‌گردد. روش EC برای شبکه‌ای با ساختار سلسله مراتبی ارائه شده است و کپی از داده در گره‌هایی که از دید مصرف‌کننده در لبه شبکه قرار دارند، ذخیره می‌شود [۳۵]. روش BC براساس پارامتر خاصی است که در هر گره محاسبه می‌شود. این پارامتر، نشان‌دهنده تعداد دفعاتی است که گره در مسیر تحویل محتوا بین زوج گره‌های موجود در شبکه قرار می‌گیرد. نویسندگان مرجع

درخواست‌ها و محتوا استفاده می‌شود. از تکنیک خاصی به منظور حذف محتوا قدیمی از حافظه نهان استفاده می‌شود، تا محتوای تازه دریافت شده بتوانند در حافظه نهان ذخیره گردد. علاوه بر این، در این روش از تکنیک دیگری مبتنی بر تازگی^{۴۲} محتوا استفاده می‌شود، این تکنیک از داده‌ها در برابر حملات محافظت می‌کند. تکنیک مذکور، یک طرح سوئیچینگ محتوا به منظور بررسی تازگی محتوا نیز فراهم می‌کند، ضمن این که داده‌های به‌روزرسانی شده را برای ذخیره‌سازی در سیستم اینترنت اشیاء مبتنی بر شبکه اطلاعات محور ارائه می‌دهد.

۳-۲-۳. روش ذخیره‌سازی PoolCache

به منظور کاهش استفاده از منابع، نویسندگان مرجع [۳۴] روشی مبتنی بر موقعیت گره‌ها و به صورت اشتراکی بین گره‌ها ارائه می‌دهند. روش مذکور با استفاده از تلفیق^{۴۳} حافظه‌های نهان مختلف موجود در همسایگی هم و مدیریت این حافظه‌ها به دنبال کاهش استفاده از منابع است. برای این منظور، گره‌های همسایه به عنوان یک فضای ذخیره‌سازی کلی در نظر گرفته می‌شود و از هر مجموعه‌ای از گره‌های همسایه، فقط یکی داده را ذخیره می‌کند. تاکنون روش‌های ذخیره‌سازی کمی به مدیریت و کنترل کلی حافظه‌های نهان موجود در یک مجموعه پرداخته‌اند. البته چنین روش‌هایی نیازمند مبادله اطلاعات اضافی بین گره‌ها است که باعث تحمیل سربار زیادی به شبکه می‌گردد.

در روش PoolCache حافظه‌های نهان محلی در لبه شبکه به عنوان یک مخزن ذخیره‌سازی ادغام شده در نظر گرفته می‌شود. در این روش علاوه بر عملیات ذخیره‌سازی، نحوه هدایت بسته‌های علاقه و داده نیز تغییر می‌کند. برای پیاده‌سازی روش مذکور لازم است به هر یک از بسته‌های علاقه و داده یک حوزه جدید که حاوی یک نام است، اضافه شود. این نام مشخص‌کننده، گرهی است که داده را ذخیره می‌کند. نام گره ذخیره‌کننده داده در بسته علاقه و داده لحاظ می‌شود. براساس این نام، بسته علاقه به سمت گره

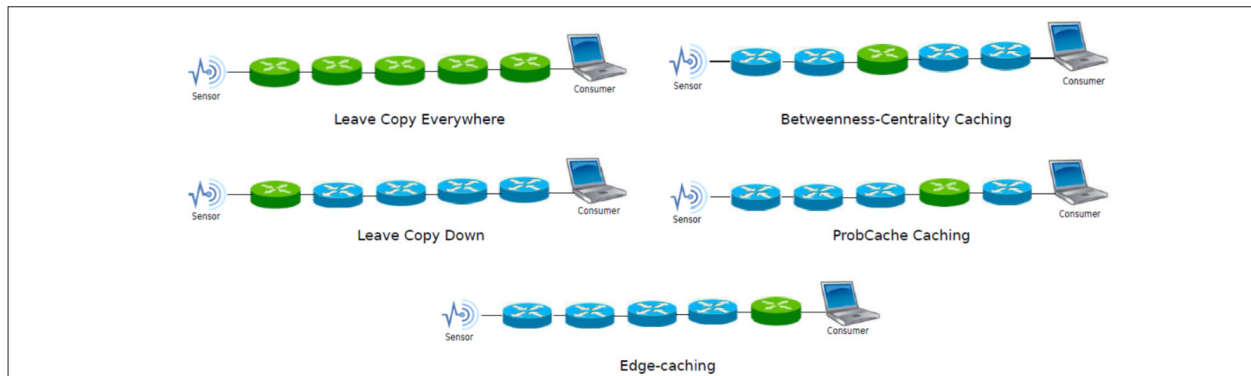
41-Leave Copy Everywhere

42-Leave Copy Down

43-Edge Caching

39-Freshness

40-Pooling



شکل ۸: برخی از روش‌های ذخیره‌سازی مبتنی بر موقعیت

فواصل زمانی مشخص باشد، مانند داده‌هایی که متناوباً به یک مرکز نظارت و کنترل منتقل می‌شوند و یا به صورت غیرمتناوب.

اغلب سیستم‌های اینترنت اشیاء برای داده‌ها شرایط و محدودیت‌هایی را لحاظ می‌کنند. برخی از این سیستم‌ها، داده را با میزان تازگی خاصی درخواست می‌دهند. به همین دلیل برخی از روش‌های ذخیره‌سازی برای سیستم‌های اینترنت اشیاء مبتنی بر شبکه اطلاعات محور براساس این خصوصیت داده، یعنی میزان تازگی آن است [۲۴]. داده‌ها در اینترنت اشیاء غالباً موقتی هستند و مرتباً در فواصل زمانی توسط تولیدکننده اصلی داده بروز می‌شوند. مصرف‌کننده داده نیز عموماً آخرین نسخه و یا نسخه‌هایی با زمان مشخص و یا با میزان تازگی مشخص را درخواست می‌کنند. مصرف‌کننده می‌تواند با تعیین میزان تازگی خاصی، نسخه بروز شده را دریافت کند. مشخصه تازگی داده در این سیستم‌ها، اهمیت زیادی دارد و البته تکنیک‌های حافظه نهان را پیچیده‌تر می‌کند. استفاده از دنباله اعداد برای نام‌گذاری نسخه‌های مختلف داده، نمی‌تواند روش مناسبی باشد. زیرا زمانی که گرهی تازه به شبکه متصل شود، شماره مربوط به آخرین نسخه از داده را نمی‌داند تا بتواند آن را درخواست دهد. در صورتی که از دنباله اعداد استفاده نشود، نسخه‌های مختلف داده با مقادیر متفاوت نام یکسانی خواهد داشت که این باعث ایجاد اشکال می‌گردد و ممکن است گرهی با مقدار قدیمی از داده به مصرف‌کننده‌ای پاسخ دهد به جای این که درخواست

[۱۶] نشان داده‌اند که در شبکه‌های داده محور، ذخیره داده در تعداد کمتری از گره‌های میانی نتایج بهتری را از نظر نرخ برخورد در حافظه نهان به دنبال دارد.

۳-۳. روش‌های ذخیره‌سازی مبتنی بر تازگی

حجم عظیمی از داده‌های بیدرنگ، ناهمگن و پراکنده جغرافیایی توسط میلیون‌ها دستگاه متنوع اینترنت اشیاء ایجاد می‌شود که به طور دوره‌ای مشاهداتی درباره پدیده‌های نظارت شده خاص ارسال می‌کنند یا وقوع رویدادهای خاص یا غیرعادی مورد علاقه را گزارش می‌کنند. یک ویژگی اصلی اغلب داده‌های اینترنت اشیاء موقتی بودن آن‌ها است. این داده‌ها مرتباً بروزرسانی می‌شوند. به عنوان نمونه، در برنامه‌های نظارتی^{۴۴} مثل نظارت محیط شهری یا ترافیک هوشمند، داده‌های جمع‌آوری شده از مکان‌های مختلف موقتی هستند. این داده‌ها عموماً با مشخصه طول عمر همراهند، که مقداری بین چند میلی ثانیه تا چند روز می‌تواند باشد. تا زمانی که طول عمر تعریف شده توسط تولیدکننده اصلی داده، تمام نشده است، داده تازه و معتبر در نظر گرفته می‌شود و پس از آن داده نامعتبر است. با توجه به این که برخی از داده‌ها مرتباً بروزرسانی می‌شوند، تولیدکننده داده حوزه جدید طول عمر را، که نشان‌دهنده مدت زمان معتبر بودن داده بعد از تولید آن است، به بسته داده اضافه می‌کند. به‌روز شدن داده می‌تواند به صورت متناوب^{۴۵} و در

44-Monitoring

45-Periodic

را به تولیدکننده اصلی هدایت کند. برای حل این مسئله، پارامتر زمان تازگی^{۴۶} در بسته داده قرار داده می‌شود. این پارامتر نشان می‌دهد یک بسته داده چه مدت زمانی (چند ثانیه) معتبر است تا در مخزن محتوای گره نگهداری شود. پس از آن زمان، دیگر داده نامعتبر است و به عنوان داده مانده یا کهنه^{۴۷} در نظر گرفته شده و دور انداخته می‌شود [۳۲]. با این تکنیک، تولیدکننده می‌تواند روی داده در شبکه کنترل داشته باشد و موجب حذف آن، در صورت قدیمی بودن گردد [۳۶].

مقایسه‌ای بین معماری مبتنی بر IP و معماری مبتنی بر شبکه اطلاعات محور برای یک محیط اینترنت اشیاء توسط کوودو^{۴۸} و همکارانش انجام شده است [۳۷]. برای سناریوی داده محور، بسته داده حاوی حوزه‌ای است که مقدار تازگی داده را مشخص می‌کند. همچنین فرض شده است که همه مصرف‌کننده‌ها به مقدار تازگی یکسانی نیاز دارند. هر چند که عموماً برنامه‌های مختلف میزان تازگی متفاوتی برای داده‌ها نیاز دارند. برای پشتیبانی از برنامه‌های مختلف که نیازمند میزان تازگی متفاوتی برای داده هستند، می‌توان پارامتر تازگی را به کمترین مقدار (تازه‌ترین داده) مورد نیاز تنظیم کرد. این روش باعث می‌شود بیشتر مجبور به دریافت داده از تولیدکننده اصلی باشیم. به عبارت دیگر نرخ برخورد در حافظه نهان کاهش می‌یابد. بنابراین در مواردی که زمان فعالیت برنامه‌هایی که نیازمند داده‌های تازه‌تر هستند (سخت‌گیرانه‌تر و حساس‌تر) در مقایسه با برنامه‌هایی که میزان تازگی داده مورد نیاز آن‌ها چندان سخت‌گیرانه نیست، کوتاه است، این روش منجر به کاهش کارایی می‌گردد. علاوه بر این، لازم است به این نکته نیز توجه داشت که در بسیاری از موارد نمی‌توان از قبل میزان تازگی مورد نیاز برنامه‌های مصرف‌کننده مختلف را دانست. ضمن این که تنظیم مقدار درست پارامتر تازگی اهمیت زیادی دارد.

با توجه به موارد ذکر شده در رابطه با پارامتر

تازگی، کوودو و همکارانش روشی ارائه کردند که براساس مشخصه تازه بودن داده است. در این روش، درخواست‌دهنده در پیام درخواست مشخص می‌کند که چه میزان تازگی داده را نیاز دارد. به عبارت دیگر، یک مقدار خاص برای میزان تازگی داده توسط مصرف‌کننده تنظیم می‌شود. به این منظور لازم است یک حوزه جدید که پارامتر تازگی^{۴۹} و یا زمان معتبر بودن داده است به درخواست‌ها افزوده شود، این پارامتر توسط گره‌ها تفسیر می‌شود. زمانی که گره درخواستی را دریافت می‌کند، میزان تازگی داده موجود در حافظه نهان با میزان تازگی درخواست شده مقایسه می‌گردد. اگر داده مناسب موجود باشد، به درخواست پاسخ داده می‌شود، در غیر این صورت درخواست هدایت می‌شود، تا تولیدکننده اصلی یا گرهی که حاوی داده با میزان تازگی مطلوب است به درخواست پاسخ دهد. در این روش از سیاست جایگزینی LRU استفاده شده است. نتایج شبیه‌سازی نشان می‌دهد که معماری شبکه اطلاعات محور استفاده شده در این تحقیق، نسبت به معماری مبتنی بر IP، میزان مصرف انرژی پایین‌تر است. تاثیر پارامتر تازگی و اندازه حافظه نهان بر نرخ برخورد نیز بررسی شده است. واضح است که با افزایش میزان تازگی داده و اندازه حافظه نهان، نرخ برخورد افزایش می‌یابد.

کار انجام شده در مرجع [۳۸] به صورت مشتری محور^{۵۰} است که تازگی را برای داده‌های اینترنت اشیاء در نظر می‌گیرد. چون غالباً برنامه‌های کاربردی مصرف‌کننده‌های مختلف، مقدار تازگی متفاوتی را نیاز دارند، هر مصرف‌کننده، مقدار خاص تازگی مورد نیاز خود را در پیام علاقه مشخص می‌کند. مسیر یاب‌های میانی که بسته علاقه را دریافت می‌کنند، در مخزن محتوای خود بررسی می‌کنند آیا داده‌ای با تازگی مطلوب وجود دارد یا نه. اگر چنین داده‌ای موجود باشد، برخورد^{۵۱} اتفاق افتاده و داده به سمت مصرف‌کننده ارسال می‌شود و اگر برخورد

49-Freshness parameter

50-Consumer driven

51-Hit

46-Freshness seconds

47-Stale

48-Quevedo

روش ذخیره‌سازی براساس احتمال، تنوع داده‌های ذخیره شده را تضمین می‌کند و بهره‌وری نسبتاً مناسبی از منابع در دسترس فراهم می‌کند.

هیل و همکارانش، روشی به نام pCASTING ارائه دادند که هم ویژگی تازگی داده و هم مشخصات گره شامل سطح انرژی و نیز فضای ذخیره‌سازی در دسترس آن را لحاظ می‌کند [۲۳]. این روش مبتنی بر خصوصیات محتوا و گره است. چون این روش نیاز به ارسال پیام اضافی ندارد و روش پیچیده‌ای نیست، برای دستگاه‌های محدود اینترنت اشیاء مناسب است. تازگی به عنوان مشخصه داده، و سطح باتری و ظرفیت ذخیره‌سازی در دسترس به عنوان دو مشخصه گره در تصمیم‌گیری لحاظ شده‌اند. pCASTING روش توزیع شده‌ای است که هنگام دریافت داده ورودی در هر گره اجرا می‌شود. ابتدا احتمال ذخیره‌سازی براساس دو مشخصه پویای گره یعنی سطح انرژی و فضای ذخیره‌سازی اشغال شده در گره و نیز مشخصه تازگی داده تعیین می‌شود. برای این منظور نویسندگان مقاله، رابطه‌ای براساس این سه پارامتر ارائه داده‌اند. سپس براساس آن تصمیم‌گیری برای جایگذاری داده در مخزن محتوای گره انجام می‌گیرد. این روش با این که خصوصیات گره و داده هر دو را در نظر می‌گیرد، اما ساده است و هزینه سربار زیادی ندارد. چون نیازمند مبادله پیام و یا افزودن بخش اضافه‌ای در بسته داده و درخواست نیست. درخواست منتشر می‌شود تا زمانی که به گره‌ای که حاوی داده است، برسد. در مسیر برگشت داده، هر گره که داده را دریافت می‌کند تصمیم‌گیری برای ذخیره داده در آن انجام می‌گیرد. در روش pCASTING برای هر داده، احتمال ذخیره داده با توجه به مشخصات ذکر شده، محاسبه شده، سپس با توجه به احتمال محاسبه شده، تصمیم‌گیری برای ذخیره داده انجام می‌شود. ارزیابی روش با سناریوی یک شهر هوشمند در اندازه کوچک انجام شده است، که حسگرها به طور متناوب داده‌هایی محیطی تولید می‌کنند. در این کار از سیاست جایگزینی LRU استفاده شده است و با روش‌های

رخ نهد، بسته علاقه براساس FIB به گره دیگری هدایت می‌شود تا زمانی که توسط گره حاوی داده با تازگی مطلوب پاسخ داده شود. تولیدکننده نیز در بسته داده مقدار طول عمر داده را مشخص می‌کند. برای سیاست جایگزینی LRU استفاده شده است. با توجه به نتایج حاصل شده، در صورتی که اندازه حافظه نهان گره‌ها بسیار محدود باشد، پارامتر تازگی اهمیت خود را از دست می‌دهد، زیرا در این شرایط حافظه نهان باید دائماً محتوای خود را با داده‌های ورودی جدید جایگزین کند. علاوه بر این، مقادیر خیلی کم تازگی نیز نرخ برخورد حافظه نهان در شبکه را کاهش می‌دهد.

۳-۳-۱. روش ذخیره‌سازی pCASTING^{۵۲}

همان‌طور که قبلاً گفته شد، روش‌هایی برای ذخیره‌سازی داده براساس تعریف احتمال نیز ارائه شده‌اند. در سیستم‌های اینترنت اشیاء داده‌های مختلف و متنوعی نیاز است، مثلاً در حمل‌ونقل هوشمند، یک راننده به عنوان مصرف‌کننده ممکن است داده‌هایی مانند شرایط ترافیکی و دما در منطقه، موقعیت دقیق خودرو و... را نیاز داشته باشد. بنابراین سیاست ذخیره‌سازی باید فاکتوری را در نظر بگیرد تا بتوان تنوع^{۵۳} داده‌ها را رعایت کرد. بر این اساس تخصیص احتمال تصادفی برای داده‌ها در نظر می‌گیرند. در روش ارائه شده توسط هیل^{۵۴} و همکارانش هر گره داده دریافت شده را با احتمال P ذخیره می‌کند و شبیه‌سازی را براساس دو سیاست جایگزینی LRU و نیز روش تصادفی بررسی کرده است [۳۹]. مقدار احتمال می‌تواند هر مقداری بین ۰ و ۱ باشد. در این صورت، اگر $p=1$ در نظر گرفته شود، همان روش CE^۲ خواهد بود. نتایج کار هیل و همکارانش نشان می‌دهد، برای سیستم‌های اینترنت اشیاء، ترکیب روش بر پایه احتمال با سیاست جایگزینی LRU مناسب‌تر است. آن‌ها همچنین نشان داده‌اند که ذخیره‌سازی حتی با اندازه کوچک مخزن محتوا برای دستگاه‌های محدود اینترنت اشیاء، تکنیک مفیدی است.

52-Probabilistic Caching Strategy for the INternet of thinGs

53-Diversity

54-Hail

۳-۴ روش‌های ذخیره‌سازی ترکیبی

این دسته، شامل روش‌هایی است که جایگذاری داده‌ها براساس حداقل دو مورد از مشخصه‌های ذکر شده انجام می‌شود. به عنوان نمونه ممکن است مشخصه تازگی و محبوبیت یا محبوبیت و موقعیت برای ارائه روش ذخیره‌سازی مورد استفاده قرار بگیرد.

۳-۴-۱. روش ذخیره سازی PDPU^{۵۸}

نور و همکارانش [۱۷] با ذخیره‌سازی داده‌های محبوب در لبه شبکه و نگه داشتن داده‌های کمتر محبوب در هسته شبکه، یک راهبرد توزیع‌شده ذخیره‌سازی داده‌ها برای شبکه‌های اطلاعات‌محور در مقیاس بزرگ پیشنهاد کردند. طرح پیشنهادی در این مطالعه، در برنامه‌های اینترنت اشیاء کاربرد دارد، به این صورت که محتوای درخواستی دستگاه‌های اینترنت اشیاء تنها در صورت محبوبیت به سمت لبه‌های شبکه می‌روند و در آنجا ذخیره می‌شوند. به همین ترتیب، محتوای تولید شده توسط حسگرهای اینترنت اشیاء به صورت کاملاً توزیع شده و بر اساس معیارهای مبتنی بر محبوبیت داده به سمت مصرف‌کنندگان هدایت می‌شود.

در این روش، داده‌ها به دو دسته اصلی داده محبوب و غیرمحبوب تقسیم نمی‌شود، بلکه یک تابع وزنی تعریف شده که دو معیار را به عنوان ورودی می‌گیرد. یعنی فراوانی درخواست داده و تازگی داده هر دو برای تعیین سطح محبوبیت داده لحاظ شده‌اند. روش PDPU شامل دو عملیات ذخیره‌سازی است:

PD^{۵۹}: هر زمان که محبوبیت داده ذخیره شده در حافظه نهان به یک آستانه از قبل تعریف شده برسد، محتوای درخواستی تنها با یک پرش پایین می‌آید و از حافظه نهان فعلی حذف می‌شود. فقط گره همسایه میانی مستقیم محتوای مذکور را ذخیره می‌کند. با این پرش محتوا، در نهایت محتوای محبوب و تازه نزدیک به گره‌های درخواست کننده قرار می‌گیرد.

CE^۲ و مبتنی بر احتمال ($p=1/2$) مقایسه شده است. این مقایسه نشان می‌دهد روش ارائه شده کاهش مصرف انرژی و نیز افزایش نرخ برخورد را فراهم می‌کند.

۳-۳-۲. روش ذخیره‌سازی FDC^{۵۵}

در مطالعه‌ای که توسط آمادو^{۵۶} و همکارانش انجام شده است [۴۰]، روش ذخیره‌سازی مبتنی بر تازگی به نام FDC ارائه شده است. آن‌ها با تمرکز روی داده‌های موقت نشان داده‌اند که تازگی پارامتر تاثیرگذاری در کارایی روش ذخیره‌سازی است و می‌تواند در بهبود نرخ برخورد و تاخیر دستیابی به داده موثر باشد. با توجه به این که داده‌های با طول عمر کوتاه مرتباً از مخزن محتوای گره‌ها حذف می‌شوند، ذخیره داده‌ها با طول عمر طولانی مناسب‌تر است. روش FDC احتمال ذخیره‌سازی داده را با استفاده از زمان تولید داده و طول عمر داده، تعریف می‌کند. این دو پارامتر توسط تولیدکننده اصلی داده در بسته داده لحاظ می‌شود. زمانی که گرهی بسته داده‌ای را دریافت می‌کند، بسته با احتمال $P(i)$ در حافظه نهان گره ذخیره می‌شود. اگر زمان دریافت داده، مقدار باقی‌مانده از تازگی ۵۷ داده بیشتر از آستانه تعریف شده باشد، احتمال مربوطه برابر یک در نظر گرفته می‌شود و قطعاً داده ذخیره می‌گردد. در غیر این صورت احتمال ذخیره داده برابر با نسبت مقدار تازگی باقی‌مانده داده مذکور به آستانه تعیین می‌گردد. مقدار باقی‌مانده از تازگی براساس طول عمر داده، زمان تولید آن و زمان فعلی محاسبه می‌گردد. ارزیابی روش FDC با در نظر گرفتن یک سناریوی خودرویی انجام شده است و با روش CE^۲ و روش ذخیره‌سازی تصادفی مقایسه شده است. نتایج مقایسه نشان‌دهنده برتری FDC در بهبود نرخ برخورد و تاخیر از دو روش مذکور است. با توجه به این که FDC داده‌های با مقدار تازگی باقی‌مانده طولانی‌تر را برای ذخیره‌سازی در نظر می‌گیرد، بهبود نرخ برخورد قابل پیش‌بینی است.

55-Freshness-Driven Caching

56-Amadeo

57-Residual freshness

58-Push Down popular, Push Up less-popular

59-Push Down

PU^{۶۰}: با توجه به این که که محتوای محبوب به دلیل عملیات PD و در نظر گرفتن محدودیت اندازه حافظه نهان یک پرش پایین می‌آید، محتوای نامطلوب باید از CS حذف شود. در حالی که محتوای کمتر محبوب را می‌توان در حافظه نهان ذخیره کرد. این روش برای اطمینان از تعادل بین محتوای با محبوبیت بالا و کمتر محبوب پیشنهاد می‌کند که محتوا قبل از حذف از CS فعلی، در صورتی که محبوبیت مناسبی داشته باشد، یک پرش بالا برود و در گره بعدی ذخیره می‌شود.

۳-۴-۲. روش ذخیره سازی FBC^{۶۱}

این روش [۴۱]، رویکرد جدیدی برای جایگذاری مناسب داده‌های اینترنت اشیا در مخزن محتوای گره‌های شبکه اطلاعات محور ارائه داده است. هدف اصلی در رویکرد پیشنهادی، در نظر گرفتن محدودیت‌های موجود در ذخیره‌سازی داده‌ها برای اینترنت اشیا مبتنی بر NDN است. در این رویکرد از رایانش مه برای رفع محدودیت سرعت تصمیم‌گیری جایگذاری داده در گره‌های شبکه اطلاعات محور استفاده شده است. ایده اصلی روش FBC، جلوگیری از ذخیره داده‌های کم‌اولویت با توجه به محدود بودن مخزن محتوا گره‌های شبکه اطلاعات محور است. رایانش مه به عنوان یک لایه میانی بین شبکه اطلاعات محور و دستگاه‌های اینترنت اشیا استفاده می‌گردد. داده‌های خام که در پایین‌ترین لایه، یعنی دستگاه‌های اینترنت اشیا تولید می‌شوند، برای انجام عملیات پردازشی موثر به لایه مه ارسال می‌شوند. داده در لایه مه بررسی می‌شود، تا درجه اولویت آن به منظور ذخیره‌سازی در شبکه اطلاعات محور مشخص گردد. محاسبه اولویت داده براساس مشخصات داده انجام می‌شود. این لایه، به عنوان واسطی بین دستگاه‌های اینترنت اشیا و شبکه اطلاعات محور عمل می‌کند. این لایه، داده‌ها را پردازش کرده، اطلاعات مفید آن‌ها را استخراج کرده و به داده‌های ارزشمند برای ذخیره‌سازی اولویت بالایی تخصیص می‌دهد. تخصیص

اولویت براساس دو مشخصه تازگی و محبوبیت داده انجام می‌گردد. همچنین با استفاده از ظرفیت ذخیره‌سازی گره‌های مه، داده‌ها به طور موقت در گره‌های مه ذخیره می‌شوند. بالاترین لایه، شبکه اطلاعات محور است که داده‌های پردازش شده را دریافت می‌کند. سپس عملیات هدایت داده‌ها مطابق با عملکرد معمول مسیریاب‌های شبکه اطلاعات محور انجام می‌شود. اما رویکرد ذخیره‌سازی تغییر می‌کند و فقط داده‌های با اولویت بالاتر از حد آستانه در هنگام عبور از گره‌ها ذخیره می‌شوند و داده‌های با اولویت پایین از عملیات ذخیره‌سازی حذف می‌شوند. به عبارت دیگر، داده‌ها در لایه مه براساس مشخصه‌های خود، اولویت‌بندی شده و ذخیره‌سازی در گره‌های شبکه اطلاعات محور براساس اولویت‌های تخصیص داده شده، انجام می‌گیرد. با تخصیص اولویت به داده، فرآیند تصمیم‌گیری در هر گره حذف می‌شود. روش پیشنهادی با حذف داده‌های کم اولویت از عملیات ذخیره‌سازی در شبکه اطلاعات محور، کارایی حافظه نهان را بهبود می‌دهد. البته این روش، کاهش دقت در محاسبه محبوبیت داده‌ها را به همراه دارد. به دلیل انجام اولویت‌بندی در لایه مه، دقت محاسبه محبوبیت کاهش می‌یابد. برخی از درخواست‌ها توسط گره‌های میانی در شبکه پاسخ‌دهی می‌گردد، که این درخواست‌ها در محاسبه محبوبیت داده در لایه مه لحاظ نمی‌شود. گره‌های مه تنها درخواست‌هایی که خود دریافت می‌کنند، را برای تعیین اولویت داده در نظر می‌گیرند. به این ترتیب در مقایسه با انجام تصمیم‌گیری در تمام گره‌های میانی دقت محاسبه محبوبیت داده کمتر است. روش FBC با روش‌های CC [۳۲] و BC [۸] مقایسه شده است. نتایج حاصل بیانگر بهبود کارایی روش پیشنهادی در مقایسه با روش‌های ذکر شده، از منظر نرخ برخورد حافظه نهان و میانگین تاخیر است.

۳-۴-۳. روش ذخیره‌سازی IDMC^{۶۲}

با توجه به این که برخی از محققان قبلاً تردیدهای

60-Push Up

61-Fog-based Caching

62-IoT data management for caching

زیادی را درمورد ذخیره‌سازی فراگیر مطرح کرده‌اند که باعث ایجاد افزونگی می‌گردد، در این روش [۴۲] گره‌های مناسب ذخیره‌سازی برای دسته‌های مختلف داده‌ها با توجه به مشخصه موقتی بودن آنها انتخاب شده است. به این منظور، از مشخصه‌های داده برای دسته‌بندی استفاده شده است. همان‌طور که ذکر شد، یکی از ویژگی‌های اصلی داده‌های اینترنت اشیا، موقتی بودن آنها است. این مشخصه، یک معیار اساسی بخصوص برای تصمیم‌گیری ذخیره‌سازی داده‌های اینترنت اشیا است. نویسندگان این مقاله، دسته‌بندی داده‌ها را براساس موقتی بودن آنها و در سه سطح انجام داده‌اند. طول عمر محتوا ممکن است چند ثانیه و یا چند روز باشد محتواهای بسیار گذرا، مانند اطلاعات مرتبط امنیتی، حریم خصوصی افراد یا اطلاعات مرتبط به شرایط یک بیمار حاد، که تولیدکننده داده آن‌ها را با طول عمر بسیار کوتاه تولید می‌کند، در سطح یک قرار می‌گیرد. این نوع از داده‌ها، غالباً محبوبیت بالایی ندارند و فقط در کاربردهای خاص توسط کاربران بسیار کمی درخواست می‌شوند. سطح دو، داده‌هایی با طول عمر معمولی تعریف می‌کنیم، مانند اطلاعات ترافیکی یک محیط و ازدحام جاده. نهایتاً سطح سه را داده‌هایی با طول عمر طولانی تعریف می‌کنیم، که می‌توانند بیش از یک دقیقه تا چندین روز معتبر بمانند، مانند برخی اطلاعات مربوط به مسیرهای جاده‌ای، اطلاعات مرتبط با شرایط آب و هوایی یک منطقه و یا خدمات تجاری و تبلیغی. دو دسته آخر، در مقایسه با دسته اول، غالباً به صورت منطقه‌ای هستند و توسط مصرف‌کننده‌های بیشتری مورد استفاده قرار می‌گیرند، به عبارت دیگر محبوبیت بیشتری دارند. برای انجام این دسته‌بندی، دو حد آستانه (T_1, T_2) در نظر گرفته شده است. به این ترتیب داده‌های سطح یک، داده‌هایی با طول عمر کمتر از T_1 است. سطح دو شامل داده‌هایی با طول عمر بزرگتر از T_1 و کوچکتر از T_2 است و سطح سه شامل داده‌های با طول عمر بالاتر از T_2 است. به این ترتیب با دسته‌بندی داده‌ها براساس طول عمر آن‌ها، برای

هر دسته رویکرد ذخیره‌سازی مناسب و مجزایی را اعمال نموده‌اند.

برای داده‌های دسته اول، چون این داده‌ها مرتباً به‌روزرسانی می‌شوند و غالباً فقط در کاربردهای خاص و توسط مصرف‌کننده‌های محدودی درخواست می‌شوند، عدم ذخیره‌سازی این داده‌ها و اختصاص فضا به داده‌های با طول عمر طولانی‌تر، لحاظ شده است. برای دسته دوم، که طول عمر نسبتاً کوتاهی دارند، ذخیره‌سازی داده‌ها در گره‌های لبه انجام شده است. دسته سوم داده‌های با طول عمر طولانی هستند که داده‌های مناسبی برای ذخیره شدن هستند. برای ذخیره‌سازی این دسته داده، از معیار مرکزیت [۸] استفاده شده است. براساس این معیار که مبتنی بر موقعیت گره‌هاست، گرهی در مسیر تحویل داده که بالاترین مقدار معیار مرکزیت را داشته باشد، داده را ذخیره می‌کند. با توجه به این که محدودیت فضای ذخیره‌سازی در مسیرهای میانی وجود دارد، روش IDMC با عدم ذخیره‌سازی داده‌های دسته اول و تخصیص فضای ذخیره‌سازی به داده‌های دسته دوم و سوم، در مقایسه با روش CE^2 و BC کارایی بهتری دارد.

آن چه که بیان شد، روش‌های ارائه شده در زمینه جایگذاری داده در حافظه نهان برای سیستم‌های اینترنت اشیا مبتنی بر شبکه داده نامگذاری شده است. در جدول ۲ به طور خلاصه مشخصات هریک از این روش‌ها، به همراه معیارهای ارزیابی آن‌ها بیان داده شده‌است.

در روش‌های ذخیره‌سازی مبتنی بر موقعیت، داده‌ها نزدیک به کاربر ذخیره می‌شوند و زمان دسترسی به آن‌ها کمتر می‌شود. در این روش‌ها اگر تحرک کاربران را در نظر بگیریم، با تغییر در الگوهای رفتاری کاربران و جغرافیا، کارایی آن کاهش یابد. ضمن این که نیاز به پایش مداوم برای تغییرات موقعیتی گره‌ها خواهد داشت. در روش‌های کشینگ مبتنی بر تازگی، داده‌ها بر اساس تاریخ تولید آن‌ها و میزان تازگی آنها ذخیره می‌شوند و سعی می‌شود که تازه‌ترین داده‌ها در اولویت قرار گیرند. این منجر به

۴- نتیجه‌گیری

برای بهبود عملکرد ذخیره‌سازی در شبکه‌های محتوا محور، مطالعات زیادی توسط محققان انجام شده است. اما تنها تعداد محدودی از آنها برای سیستم‌های اینترنت اشیاء مبتنی بر شبکه اطلاعات محور مناسبند. در این فصل اغلب روش‌های ارائه شده برای سیستم‌های اینترنت اشیاء مبتنی بر شبکه اطلاعات محور را بررسی و در چهار دسته مبتنی بر محبوبیت و مبتنی بر موقعیت و مبتنی بر تازگی و روش‌های ترکیبی دسته‌بندی شده است. روش‌های

کاهش حجم داده‌های غیرضروری در شبکه می‌شود. این روش تا حدودی تضمین می‌کند که کاربران به داده‌های جدید و به‌روز دسترسی دارند. روش‌های ذخیره‌سازی مبتنی بر محبوبیت بر اساس میزان درخواست برای داده‌ها عمل می‌شود و داده‌هایی که بیشترین تقاضا را دارند، در گره‌های حافظه ذخیره می‌شوند. بنابراین فرآیند ذخیره‌سازی بر اساس تقاضا انجام می‌شود و مصرف منابع بهینه‌تر می‌شود. تمرکز بر داده‌های پرفرمدار منجر به مدیریت آسان‌تر و مؤثرتر می‌شود.

جدول ۲: روش‌های جایگذاری داده در حافظه نهان

مرجع	روش	مبتنی بر	سیاست جایگزینی	روش‌های مقایسه	ارزیابی	شبیه ساز	سال
[۲۸]	TCS	محبوبیت	-	CE2	متوسط تعداد برچسب‌ها	ndnSIM	۲۰۱۵
[۳۰]	PCS	محبوبیت	LRU	CC, TCS	نرخ برخورد حافظه، تاخیر	ccNsim	۲۰۱۸
[۳۲]	CC	موقعیت	LRU	CE2, LCD, EC, BC	نرخ برخورد حافظه، نرخ کاهش پرش تاخیر	ccNsim	۲۰۱۸
[۳۳]	PUC	موقعیت	LRU	-	انرژی مصرفی، پهنای باند مصرفی	ndnSIM	۲۰۲۰
[۴۳]	EC	موقعیت	LRU, LFU	CE2	تاخیر، نرخ ازدحام و نرخ ترافیک سرور	-	۲۰۱۳
[۸]	BC	موقعیت	LRU	Random, CE2	نرخ برخورد حافظه، متوسط تعداد پرش	-	۲۰۱۲
[۳۴]	PoolCache	موقعیت	LRU	CE2, LCD, EC, BC	نرخ برخورد حافظه، نرخ کاهش پرش	ccnSim	۲۰۲۱
[۳۷]	DF ¹	تازگی	LRU	IP	نرخ برخورد حافظه، متوسط تعداد پرش	ndnSIM	۲۰۱۴
[۳۸]	CD ²	تازگی	LRU	-	نرخ برخورد حافظه، متوسط تعداد پرش	ndnSIM	۲۰۱۴
[۲۳]	pCASTING	تازگی	LRU	probcache, CE2	نرخ برخورد حافظه، تاخیر	ndnSIM	۲۰۱۵
[۴۰]	FDC	تازگی	LRU	Random, CE2	نرخ برخورد حافظه، تاخیر، متوسط داده‌های دریافتی	ndnSIM	۲۰۲۰
[۱۷]	PDPU	ترکیبی (محبوبیت و تازگی)	LRU LRU LRU	ProbCache	انرژی، پهنای باند	ndnSIM	۲۰۲۰
[۴۱]	FBC	ترکیبی (محبوبیت و تازگی)	LRU LRU LRU	CC, BC	نرخ برخورد حافظه، تاخیر	ndnSIM	۲۰۲۲
[۴۲]	IDMC	ترکیبی (تازگی و موقعیت)	LRU LRU LRU	CE2, BC	نرخ برخورد حافظه، تاخیر	ndnSIM	۲۰۲۳

1-Different Freshness

2-Consumer Driven

هستند. روش‌های ذخیره‌سازی که اخیراً ارائه شده‌اند، غالباً از نظر نرخ برخورد و تاخیر عملکرد خوبی دارند، اما به دلیل استفاده از الگوریتم‌های نسبتاً پیچیده از نظر مصرف انرژی بخصوص برای دستگاه‌های اینترنت اشیا چندان مطلوب نیستند. بنابراین می‌توان در آینده روشی ارائه داد که کارایی را از نظر مصرف انرژی نیز بررسی کند.

مراجع

1. Binti, M., Noor, M. & Hassan, W. H. 2019. "Current research on Internet of Things (IoT) security: A survey," *Comput. Networks*, vol. 148, pp. 283–294, doi: 10.1016/j.comnet.2018.11.025.
2. Arshad, S., Azam, M. A., Rehmani, M. H. & Loo, J. 2019. "Recent advances in information-centric networking-based internet of things (ICN-IoT)," *IEEE Internet Things J.*, vol. 6, no. 2, pp. 2128–2158, doi: 10.1109/JIOT.2018.2873343.
3. Baccelli, E., Mehlis, C., Hahm, O., Schmidt, T. C. & Wählisch, M. 2014. "Information centric networking in the IoT: Experiments with NDN in the wild," *ICN 2014 - Proc. 1st Int. Conf. Information-Centric Netw.*, pp. 77–86, doi: 10.1145/2660129.2660144.
4. Vasilakos, A. V., Li, Z., Simon, G. & You, W. 2015. "Information centric network: Research challenges and opportunities," *J. Netw. Comput. Appl.*, vol. 52, pp. 1–10, 2015, doi: 10.1016/j.jnca.02.001.
5. Zhang, L. et al., 2014. "Named data networking," *Comput. Commun. Rev.*, doi: 10.1145/2656877.2656887.
6. Zhang, Z., Lung, C. H., Wei, X., Chen, M., Chatterjee, S. & Zhang, Z. 2023. "In-network Caching for ICN-based IoT (ICN-IoT): A Comprehensive Survey," *IEEE Internet Things J.*, 2023, doi: 10.1109/JIOT.3274653.
7. Amadeo, M. et al., 2016. "Information-centric networking for the internet of things: Challenges and opportunities," *IEEE Netw.*, vol. 30, no. 2, pp. 92–100, 2016, doi: 10.1109/MNET.7437030.
8. Chai, W. K., He, D., Psaras, I. & Pavlou, G. 2012. "Cache 'less for more' in information-centric networks," in *International Conference on Research in Networking*, pp. 27–40.
9. Kalla, A. & Sharma, S. K. 2016. "A constructive review of in-network caching: A core functionality of ICN," in *Proceeding - IEEE International Conference on Computing, Communication and Automation, ICCCA 2016*, 2017, pp. 567–574, doi: 10.1109/CCAA.7813785.
10. Meddeb, M., Dhraief, A., Belghith, A., Monteil, T. & Drira, K. 2018. "How to cache in ICN-based IoT environments?," *Proc. IEEE/ACS Int. Conf. Comput. Syst. Appl. AICCSA*, vol. 2017-Octob, pp. 1117–1124, doi: 10.1109/AICCSA.2017.37.

ارائه شده غالباً براساس محبوبیت محتوا یا موقعیت گره‌ها هستند. تازگی مفهومی است که اخیراً در مقالات مربوط به ذخیره‌سازی اینترنت اشیا مبتنی بر شبکه اطلاعات‌محور به آن پرداخته شده است. چون تازگی، مشخصه‌ای تاثیرگذار بخصوص برای برخی از داده‌های اینترنت اشیا است، اخیراً محققان روش‌های ذخیره‌سازی مبتنی بر آن ارائه داده‌اند. این روش‌ها نشان می‌دهد که لحاظ کردن این مشخصه می‌تواند منجر به ذخیره داده‌های مناسب‌تر و بهبود کارایی ذخیره‌سازی شود. روش‌های مبتنی بر موقعیت، غالباً توجهی به مشخصات داده ندارند. این روش‌ها براساس موقعیت گره‌ها، گره یا گره‌هایی را که با توجه به توپولوژی شبکه احتمال نرخ برخورد بالاتری دارند، برای ذخیره‌سازی در نظر می‌گیرند. به همین دلیل این روش‌ها باعث پرشدن سریع حافظه نهان گره‌ها با تمامی داده‌ها می‌گردند. در واقع به این نکته مهم که تمام داده‌ها اهمیت یکسانی برای ذخیره‌سازی ندارند، توجهی نمی‌شود. پژوهش‌های انجام شده غالباً بدون توجه به همه محدودیت‌های موجود در ذخیره‌سازی برای اینترنت اشیا مبتنی بر شبکه اطلاعات‌محور ارائه شده‌اند. به این ترتیب برخی از روش‌ها نیاز به پردازش‌های بالا داشته و یا سربار زیادی به جهت مبادله اطلاعات بین گره‌ها به شبکه تحمیل می‌کنند. بنابراین استفاده از چنین روش‌هایی برای سیستم‌های با محدودیت توان پردازشی قابل استفاده نمی‌باشد. در این مطالعه، روش‌های متعددی بررسی شده است. روش‌هایی که اخیراً ارائه شده‌اند، غالباً براساس ترکیب دو یا سه ویژگی موقعیت، تازگی و محبوبیت هستند. روش‌های ترکیبی که ویژگی تازگی و محبوبیت را در نظر می‌گیرند، داده‌های با اهمیت بیشتر برای ذخیره‌سازی را در حافظه نهان گره‌ها ذخیره می‌کنند. روش‌های ترکیبی که براساس ویژگی موقعیت گره‌ها و یک ویژگی داده‌ها هستند، غالباً گره‌هایی را انتخاب می‌کنند که احتمال نرخ برخورد بالاتری دارند، به عبارت دیگر گره‌هایی که در مکان‌های با اهمیت بیشتر برای ذخیره‌سازی، مستقر

- on recent advances in internet of things (RIoT), pp. 1–6.
24. Al-Ward, H., Tan, C. K., & Lim, W. H. 2022. "Caching transient data in Information-Centric Internet-of-Things (IC-IoT) networks: A survey," *Journal of Network and Computer Applications*. doi: 10.1016/j.jnca.2022.103491.
 25. Janaszka, T., Bursztynowski, D. & Dzida, M. 2012. "On popularity-based load balancing in content networks," in *Final Program - 2012 24th International Teletraffic Congress, ITC 24*.
 26. Che, H., Tung, Y. & Wang, Z. 2002. "Hierarchical web caching systems: Modeling, design and experimental results," *IEEE J. Sel. Areas Commun.*, doi: 10.1109/JSAC.2002.801752.
 27. Ioannou, A., & Weber, S. 2014. "Towards on-path caching alternatives in Information-Centric Networks," in *Proceedings- Conference on Local Computer Networks, LCN*, doi:10.1109/LCN. 2014.6925792.
 28. Song, Y., Ma, H., & Liu, L. 2015. "TCCN: Tag-assisted Content Centric Networking for Internet of Things," *Proc. WoWMoM 2015 A World Wirel. Mob. Multimed. Networks*, doi:10.1109/ WoWMoM.2015.7158138.
 29. Lal, K. N., & Kumar, A. 2018. "A Centrality-measures based Caching Scheme for Content-centric Networking (CCN)," *Multimed. Tools Appl.*, vol. 77, no. 14, pp. 17625–17642, doi:10. 1007/s11042-017-5183-y.
 30. Naeem, M. A., Ali, R., Kim, B. S., Nor, S. A. & Hassan, 2018. "A periodic caching strategy solution for the smart city in information-centric Internet of Things," *Sustain.*, vol. 10, no. 7, doi: 10.3390/su10072576.
 31. Kim, Y., & Yeom, I. 2013. "Performance analysis of in-network caching for content-centric networking," *Comput. Networks*, vol. 57, no. 13, pp. 2465–2482, doi: 10.1016/j.comnet.2012. 11.026.
 32. Meddeb, M., Dhraief, A., Belghith, A., Monteil, T., Dri- ra, K., & Alahmadi, S. "Cache freshness in named data networking for the internet of things," *Comput. J.*, vol. 61, no. 10, pp. 1496–1511, 2018, doi: 10.1093/comjnl/ bxy005.
 33. Din, I. U., Hassan, S., Almogren, A., Ayub, F., & Guizani, M. 2020. "PUC: Packet Update Caching for energy effi- cient IoT-based Information-Centric Networking," *Futur. Gener. Comput. Syst.*, doi: 10.1016/j.future.2019.11.022.
 34. Alahmri, B., Al-Ahmadi, S., & Belghith, A. 2021. "Ef- ficient Pooling and Collaborative Cache Management for NDN/IoT Networks," *IEEE Access*, vol. 9, pp. 43228– 43240, doi: 10.1109/ ACCESS.2021.3066133.
 35. Gupta, D., Rani, S., Ahmed, S. H., Verma, S., Ijaz, M. F., & Shafi, J. 2021 "Edge caching based on collaborative filtering for heterogeneous icn-iot applications," *Sensors*, vol. 21, no. 16, pp. 1–17, doi: 10.3390/s21165491.
 36. Wang, M., Wu, J., Li, G., Li, J., Li, Q., & Wang, S. 2017. "Toward mobility support for information-centric IoV in smart city using fog computing," in *2017 5th IEEE International Conference on Smart Energy Grid Engi- neering, SEGE 2017*, pp. 357–361, doi: 10.1109/SEGE.
 11. Naeem, M. A., Ullah, R., Meng, Y., Ali, R. & Lodhi, B. A. 2022. "Caching Content on the Network Layer: A Perfor- mance Analysis of Caching Schemes in ICN-Based Inter- net of Things," *IEEE Internet Things J.*, vol. 9, no. 9, pp. 6477–6495, doi: 10.1109/JIOT.2021.3110977.
 12. P. C.N., Vimala, H. S., & S. J., 2023. "A systematic sur- vey on content caching in ICN and ICN-IoT: Challeng- es, approaches and strategies," *Comput. Networks*, doi: 10.1016/j.comnet.2023. 109896.
 13. Vural, S., Navaratnam, P., Wang, N., Wang, C., Dong, L. & Tafazolli, R. 2014. "In-network caching of Internet-of- Things data," in *2014 IEEE International Conference on Communications (ICC)*, pp. 3185–3190.
 14. Cui, Y., Zhao, M. & Wu, M. 2016. "A centralized con- trol caching strategy based on popularity and between- ness centrality in CCN," *Proc. Int. Symp. Wirel. Com- mun. Syst.*, vol. 2016-Octob, pp. 286–291, doi: 10.1109/ ISWCS.2016.7600916.
 15. Khan, J. A., Westphal, C., & Ghamri-Doudane, Y. 2017. "A content-based centrality metric for collaborative cach- ing in information-centric fogs," *2017 IFIP Netw. Conf. IFIP Netw. 2017 Work.*, vol. 2018-Janua, pp. 1–6, 2017, doi: 10.23919/IFIPNetworking. 8264869.
 16. Psaras, I., Chai, W. K. & Pavlou, G. 2012. "Probabilistic in-network caching for information-centric networks," in *Proceedings of the second edition of the ICN workshop on Information-centric networking*, pp. 55–60.
 17. Nour, B., Khelifi, H., Moun gla, H., Hussain, R. & Gui- zani, N. 2020. "A Distributed Cache Placement Scheme for Large-Scale Information-Centric Networking," *IEEE Netw.*, vol. 34, no. 6, pp. 126–132, doi: 10.1109/ MNET.011.2000081.
 18. Khalid, A., Rehman, R. A., & Kim, B. S. 2024. "Cach- ing Strategies in NDN Based Wireless Ad Hoc Network: A Survey," *Comput. Mater. Contin.*, vol. 80, no. 1, pp. 61–103, 2024, doi: 10.32604/cmc. 049981.
 19. Zhang, G., Li, Y. & Lin, T. 2013. "Caching in information centric networking: A survey," *Comput. Networks*, vol. 57, no. 16, pp. 3128–3141, 2013, doi: 10.1016/j.comnet. 07.007.
 20. "IRTF Information-Centric Networking Research Group (ICNRG)." 2019. Accessed: Apr. 22, 2020. [Online]. Available: <https://irtf.org/icnrg>.
 21. Amadeo, M., Campolo, C., Iera, A. & Molinaro, A. 2014. "Named data networking for IoT: An architectural perspective," in *EuCNC 2014- European Conference on Networks and Communications*, doi: 10.1109/EuC- NC.2014.6882665.
 22. Meng, Y., Ahmad, A. B. I. N., & Naeem, M. A. L. I. 2024 "Comparative Analysis of Popularity Aware Caching Strategies in Wireless-Based NDN Based IoT Environ- ment," vol. 12, no. September.
 23. Hail, M. A., Amadeo, M., Molinaro, A. & Fischer, S. 2015. "Caching in named data networking for the wire- less internet of things," in *2015 international conference*

- 2017.8052825.
37. Quevedo, J., Corujo, D., & Aguiar, R. 2014. "Consumer driven information freshness approach for content centric networking," *Proc.- IEEE INFOCOM*, pp. 482– 487, doi: 10.1109/ INFCOMW.2014.6849279.
38. Quevedo, J., Corujo, D., & Aguiar, R. 2014. "A case for ICN usage in IoT environments," 2014 IEEE Glob. Commun. Conf. GLOBECOM 2014, pp. 2770– 2775, doi: 10.1109/GLOCOM.2014. 7037227.
39. Aguayo-Torres, M. C., Gómez, G., & Poncela, J. 2015. "On the Performance of Caching and Forwarding in ICN for IoT," *Lect. Notes Comput. Sci. (including Subser. Lect. Notes Artif. Intell. Lect. Notes Bioinformatics)*, vol. 9071, pp. 313–326, doi: 10.1007/978- 3- 319- 22572- 2.
40. Amadeo, M., Campolo, C., Ruggeri, G., Lia, G., & Molinaro, A. 2020. "Caching Transient Contents in Vehicular Named Data Networking: A Performance Analysis," *Sensors*, vol. 20, no. 7, p. 1985, doi: 10.3390/s20071985.
41. Zahedinia, M. S., Khayyambashi, M. R., & Bohlooli, A. 2021. "Fog- based caching mechanism for IoT data in information centric network using prioritization," *Comput. Networks*, vol. 213, no. March 2021, p. 109082, 2022, doi: 10.1016/j.comnet.2022.109082.
42. Zahedinia, M. S., Khayyambashi, M. R., & Bohlooli, A. 2023. "IoT data management for caching performance improvement in NDN," *Cluster Comput.*, vol. 2, doi: 10.1007/s10586-023-04197-2.
43. Fayazbakhsh S. K. et al., 2013. "Less pain, most of the gain," *ACM SIGCOMM Comput. Commun. Rev.*, vol. 43, no. 4, pp. 147–158, doi: 10.1145/2534169.2486023.