تاریخ انتشار: ۱ دی ۱۴۰۲

گزارشی از مقاله Reliable Real-Time Operating System for IoT Devices

نویسنده: علیرضا سلطانی نشان، دانشجوی ارشد مهندسی نرم‌افزار – دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران_ شمال a.soltani@iau-tnb.ac.ir

فهرست مطالب

۱ مجوز

۲ مقدمه

این برگه صرفا گزارشی نسبت به مقاله Reliable Real-Time Operating System for IoT Devices می‌باشد. به طور کل محور این گزارش مبتنی بر یافته‌ها و پژوهش‌های انجام شده در مراجع این مقاله و مقاله‌های مرتبط در حوزه IoT و حتی IoMT نیز می‌باشد. در برخی از قسمت‌های این گزارش، ممکن است در مورد اصطلاحات توضیحاتی مطرح شود تا خواننده بتواند با دید و درک بهتری وارد بخش بعدی مرتبط با آن شود. این اصطلاحات ممکن است در دانش علمی و فنی سیستم‌های عامل باشد که مفهومی کاملا جامع و فراگیری خواهند بود. متاسفانه این مقاله به صورت عمومی قابل دسترس نیست[۱] اما شما می‌توانید با خواندن این گزارش به ماهیت اصلی علمی آن پی برده و اگر دسترسی به مقاله را داشتید می‌توانید به صورت آزاد این برگه را بهبود دهید چرا که مباحث مطرح شده می‌تواند بارها در حوزه‌های مرتبط در سال‌های مختلف مورد بحث و بررسی و حتی یادگیری قرار گیرد. لازم به ذکر است که در این گزارش، مراجعی که جمع‌آوری شده است ترکیبی از مراجع اصلی مقاله و یادگیری‌های نویسنده (نویسندگان) این گزارش از منابع مختلف اطلاعاتی اعم از یوتوبوب، گیت‌هاب، دفترچه‌های راهنمای کاربر بوده است.

۳ طرح مسئله

موضوعی که در ابتدا مطرح میکنه، در مورد فراگیر شدن گسترده دستگاه‌های مبتنی بر IoT هستش که میگه از وسایل خانه گرفته تا مهم‌ترین وسایل پزشکی. به طوری که به صورت گسترده در زندگی انسان‌ها در حال پیشرفت می‌باشند.

نتیجه این برگه به طور کلی، ارزیابی محققان را بر سیستم عامل TizenRT نشان می‌دهد که تسک‌هایی که حاوی خطا هستند را از فضای رم جدا نگهداری می‌کند در حالی که تضمین اجرای بدون مشکل را برای تسک‌های Real-Time به صورت کامل می‌دهد که در مدت زمان معینی که قرار است یک تسک کامل شود، انجام گیرد (در اینجا بهترین زمان برای انجام تسک را ۵۰ میکروثانیه دیده اند). در ادامه به آن می‌پردازد، تسکی به خاطر خطا متوقف شد چگونه می‌تواند به چرخه حیات مجدد خودش باز گردد؟ معرفی ویژگی Recovery Fast از این سیستم عامل نشان دهنده آن است که بدون نیاز به Reboot کردن سیستم عامل می‌تواند تسک مشک دار قبلی را در مرحله اجرای مجدد قرار داد (بهترین زمانی که محققان برای ارزیابی در نظر گرتفن ۱۰ میلی ثانیه بوده است). به این دلیل است که سیستم عامل TizenRT را انتخابی برای ماموریت‌های خاص (انجام تسک‌های حساس، مهم و بحرانی) معرفی می‌کند.

این مقاله به طور کلی به دو مورد از ویژگی‌های اصلی که یک سیستم عامل Time Real می‌پردازد:

ضعف اصلی برنامه نویس به دلیل پیچیدگی (در محیط و اشل‌های گسترده) نرم‌افزار می‌باشد.

۱.۳ ویژگی‌ها

۱.۱.۳ ویژگی Fault isolation

ویژگی Fault isolation از اسمش معملومه، یعنی جداکننده خطا و فاجعه نرم‌افزاری یک برنامه از دیگر برنامه‌ها. اگر یک برنامه دچار خطا شود، سیستم عامل آن را به صورت خودکار از برنامه‌های دیگر جدا می‌کند تا این حادثه بر اثر خرابی یک برنامه، روی برنامه‌های دیگر تاثیر نگذارد. دلیل اصلی این ویژگی حضور Per-binary Memory Protection هستش که باید تو این بین بررسی بشه. در حقیقت مهمترین قابلیت این ویژگی جلوگیری از عمل راه‌اندازی مجدد یا Rebooting است. (احتمالا توی مقاله منظور از User binary اون نرم‌افزارهایی هستش که برنامه نویس در مد کاربر اونا رو اجرا میکنه). توابع Fault handler بالاترین اولویت را در راه‌اندازی هاThread دارند. برای داشتن همچین قابلیتی نیازمند آن هستیم که قابلیت‌های Real-Time را در سیستم به ذاتی داشته باشیم (یا حتی به وجود آورده باشیم).

۲.۱.۳ ویژگی Fast Recovery

در مقابل ویژگی به نام Fast recovery وجود دارد که به برنامه کمک می‌کند در مدت زمانی بسیار معقول و سریع، برنامه‌ای که با شکست مواجه شده است را ریلود و مجددا اجرا کند که بتواند به ادامه فرایند محاسباتی خودش بپردازد. مکانیزمی که برای Fast recovery پیاده‌سازی

[۱] Open Access

شده است که از مرتبه و اولویت پایین‌تری نسبت به هایReal-Time Tread برخوردار است. این عملیات به گونه‌ای انجام می‌شود که عملکرد برنامه‌های حساس دیگر را تحت تاثیر قرار ندهند.

۲.۳ موضوع Per-binary Memory Protection

در این قسمت صد درصد مطمئن شدم که منظور از Binary همون Executable Programها می‌باشد. قابلیتی در سیستم عامل‌ها و پردازنده‌های مدرن و امروزی است که به برنامه‌ها اجازه میدهند که به صورت انفرادی دسترسی به مموری خودشان داشته باشند و آن را به صورت کاملا مستقل کنترل و محافظت کنند. این بدان معناست که هر برنامه در حال اجرا می‌تواند مجموعه‌ای از دسترسی‌ها و محدودیت‌های منحصر به فرد خودش را داشته باشد. مثلا تا چه حدی می‌تواند به حافظه خودش دسترسی داشته باشد. اگر برنامه‌ای تلاش کند که به مجوزی که برای اون نیست دسترسی داشته باشد از آن جلوگیری می‌شود. این قابلیت باعث می‌شود تا برنامه روی مموری‌های یکدیگر دخالت نداشته باشند. این نوع محافظت از حافظه، از مهمترین قابلیت‌های امنیتی در کامپیوتر است، زیرا از نفوذ بدافزارها و آسیب پذیری‌هایی که از طریق دسترسی به حافظه عمل می‌کنند، جلوگیری می‌کند.

۳.۳ اجرای همزمان تسک‌های RT و NRT

سیستم عامل TizenRT می‌تواند تمام تسک‌های RT و NRT را با توجه به دو ویژگی ایزوله‌سازی خطا و بازیابی سریع، به صورت همزمان اجرا کند. در جدول ۱ می‌توانید به تفکیک ۳ معیار تسک‌های RT را با NRT مقایسه کنید.

جدول ۱: Reliable Real-Time Operating System for IoT Devices تسک‌ها

نوع تسک	کد	کاربرد	پایداری
تسک‌های بلادرنگ (RT Tasks)	ساده و کم	موتورهای الکتریکی، کنترل فن‌ها	ساده و پایدار
تسک‌های Non-real time (NRT) Tasks	پیچیده و بزرگ	IoT (OCF, MQTT, TLS, Wi-Fi, BLE)	کاملا مستعد به خطا هستند

محققان آزمایشاتی به منظور بررسی عملکرد یک سیستم عامل IoT در شرایط دشوار انجام دادند. در این آزمایشات، یک Thread از نوع Real-Time در یک برنامه، هر ۵۰ میکروثانیه یک وقفه خارجی را پردازش می‌کند و یک Thread از نوع NRT در یک برنامه دیگر عمدا یک خطای حافظه ایجاد می‌کند. این آزمایشات نشان می‌دهد که Thread نوع RT با موفقیت تسک‌های خود را هر ۵۰ میکروثانیه انجام می‌دهد حتی در حالی که برنامه موجب خطای حافظه شده باشد، و می‌توان نتیجه گرفت که سیستم عامل توانایی بازیابی از خطا را داراست. مهمترین نکته در این میان وقوع وقفه‌ها هر ۵۰ میکروثانیه است که می‌تواند برای ارزیابی ویژگی قابل اعتماد بودن IoTOS در شرایط دشواری محسوب شود [۱].

۴.۳ Fast Interrupt Notification

یک روشی است که ممکنه به منظور اعلام سریع از وقوع یک نقص یا خطا در سیستم‌های کامپیوتری باشد. این امر می‌تواند باعث جبران تاخیرهای مربوط به جداسازی خطا و بازیابی سریع گردد.

۵.۳ فشرده‌سازی باینری‌ها

روشی برای کاهش حجم داده‌های باینری است، با کمک این روش، زمان انتقال داده‌ها از طریق اتصالات بی‌سیم مانند WiFi و Bluetooth و همچنین حافظه‌های ذخیره‌سازی، کاهش می‌یاد. درست است که با کم حجم کردن باینری‌ها باعث انتقال سریع آنها می‌شود اما مهم‌ترین اتفاقی که رخ می‌دهد سپری شدن زمان بیشتر برای فرایند فشرده‌سازی است. برای مثال وقتی می‌خواهیم یک باینری ۲ مگابایتی را با نسبت ۳/۳۴ فشرده‌سازی کنیم و سپس اقدام به ارسال آن کنیم، زمان لودینگ ۳۲ درصد افزایش پیدا می‌کند. در حالت کلی اگر زمان فشرده‌سازی صرفه هزینه‌ای داشته باشد، استفاده از مکانیزم فشرده‌سازی کاملا مناسب خواهد بود.

۶.۳ واحد محافظت از حافظه

یک واحد سخت افزاری [۲] در برخی میکروکنترلرها و پردازنده‌هاست که به برنامه نویسان این امکان را می‌دهد که دسترسی به حافظه را مدیریت و کنترل کنند. به واسطه این واحد می‌توان بخش‌هایی از حافظه را به صورت مجزا نگهداری کرد به گونه‌ای که محدودیت دسترسی به هر بخش از آن حافظه مجزا را تنظیم کرد. این واحد می‌تواند از نفوذ و حمله‌های امنیتی مبتنی بر دسترسی به حافظه جلوگیری کند. برای نمونه در سند تخصصی آرم در مدل CortexM۴ ذکر می‌کند که این واحد، یک واحدی اختیاری برای محافظت از حافظه می‌باشد. پردازنده در این چیپ از معماری محافظت از حافظه استاندارد ARMv۷ پشتیبانی می‌کند، همچنین بیان می‌کند که با استفاده از این واحد می‌توان عملیات بررسی دسترسی و سطح امتیاز کاربران و همچنین جدا کردن فرایندها (پردازش‌ها) را در بر گیرد. [۲].

سیستم عامل‌هایی که از این واحد کنترلی پشتیبانی می‌کنند معمولا به صورت Open Source هستند به گونه‌ای که می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

- OS Mbed
- FreeRTOS
- Zephyr

سیستم عامل Mbed دو نوع محافظت پایه‌ای از حافظه را ارائه می‌دهد:

۱. جلوگیری اجرا از RAM: Preventing execution from RAM

۲. جلوگیری از نوشتن روی Flash Memory

این دو ویژگی به صورت خودکار روی سیستم عامل فعال هستند یا اینکه براساس موقعیتی که دارند می‌توانند غیر فعال شوند، مواقعی مانند: اجرای یک اپلیکیشن و یا flash programming

سیستم عامل FreeRT از کرنل در برابر اجرای نامعتبر برنامه‌ها (تسک‌ها)ی کاربر جلوگیری می‌کند همچنین قابلیت تشخیص Stack Overflow را در سه ناحیه MPU براساس هر تسک (Thread) تشخیص می‌دهد. در این سیستم عامل واحد MPU به ندرت استفاده می‌شود و به خوبی پیاده‌سازی نشده است.

سیستم عامل Zephyr یک سیستم عامل Open Source است که برای دستگاهای با منابع محدود طراحی شده که مهمترین رسالتش انتعطاف پذیری، کارایی و امنیت بوده. امکاناتی برای حفاظت از حافظه و امنیت ارائه میده. اما به اشتراک گذاشتن حافظه بین هاThread ممکنه که موجب کاهش ایزوله‌سازی حافظه و آسیب‌پذیری نقطه‌ای شود.

۴ بخش الف تکامل به سمت IoTOS یا Evolution toward IoT OS

رسالت اصلی سیستم عامل TizenRT برای پروژه‌های محیط‌های کوچک می‌باشد. این سیستم عامل از نوع کرنل لینوکسی می‌باشد که بسیاری از معماری‌های نرم‌افزاری آن ارثبری شده از کرنل سیستم NuttX می‌باشد [۳].

دو تا از مهم‌ترین ویژگی‌هایی که سیستم عامل Tizen داره ارائه میده به موارد زیر میرسه:

۱. قابلیت fail-safe file system

۲. قابلیت Light Weight Database

این دو قابلیت تمام توابع مربوط به CRUD را بسیار مطمئن‌تر و آسان‌تر می‌کند.

تقریبا می‌توان به این نتیجه رسید که تمام وسایل خانگی هوشمند از سیستم عامل متن‌باز RT استفاده می‌کنند. مثل تصفیه کننده هوا، یخچال‌ها و کولرها. در کنار تمام این ویژگی‌ها، دستگاه‌های IoT باید UI خوبی برای تعامل کاربر با سخت‌افزار را داشته باشند. از قبیل صفحه

[۲] Memory Protection Unit

نمایش لمسی (برای دستگاه‌های پوشیدنی) شناسایی فرمان‌های صوتی. سیستم عامل TizenRT نه تنها از user interface framework استفاده می‌کند بلکه دارای یک دستیار صوتی هوشمند به اسم Bixby می‌باشد که در کنفرانس توسعه دهندگان سامسونگ در سال ۲۰۱۸ [۴] معرفی شد.

با استفاده از این دستیار صوتی نه تنها می‌توان یک دیود LED را خاموش و روشن کرد بلکه می‌توان به آن دستور پخش یک موسیقی دلخواه را داد. دستگاه‌های Headless computer کامپیوترهایی بدون مانیتور، کیبورد و ماوس هستند. این سیستم کامپیوتری را می‌توان درون شبکه قرار داد. نیت اصلی این دستگاه‌ها کاهش هزینه‌های عملیاتی است.

۵ بخش ب تردها، تسک‌ها و باینری (نرم‌افزارها)

برای درک بهتر اینکه TizenRT چطوری کار میکنه و چطوری بخش level User رو به شکل مطمئن مدیریت میکنه، نیازمند این هستیم که بدانیم تردها، تسک‌ها و باینری‌ها چقدر در این سیستم عامل نسبت به سیستم عامل‌های دیگر متفاوت هستند که این سیستم انقدر مطمئن و پایدار تعریف شده است.

۱.۵ Thread

یک واحد برای زمانبندی است و چند Thread می‌تواند به صورت گروهی، انجام یک Task را بر عهده گیرد. (شکستن یک Task به هایSubtask مساوی و اختصاص هر یک از آنها به هایThread مختلف)

۲.۵ تسک

قسمتی از برنامه برای انجام یک کار مشخص و تخصصی می‌باشد. معمولا در یک برنامه بیشتر از یک Task در حال انجام می‌باشد [۵] مانند File Descriptor.

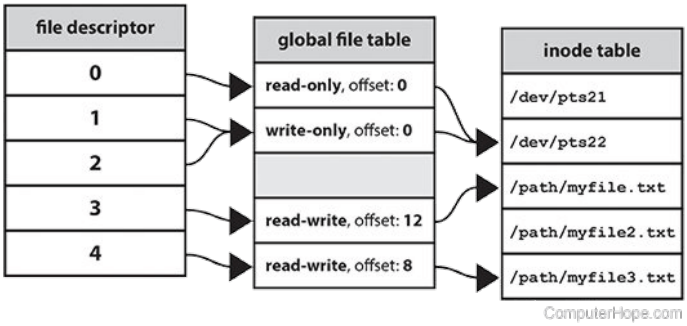
اگر یک Thread در یک فایل باینری کاربر باعث خطای حافظه شود، احتمالا کل فایل باینری متحمل خطا می‌شود زیرا همه هاThread فایل باینری را در یک حافظه مشترک به اشتراک می‌گذارند. (اشاره به خواندن و نوشتن در Shared Memory). به همین دلیل بایستی یک واحد برای جدایی خطا (Fault Isolation) و بازیابی سریع (Fast recovery) در فایل باینری وجود داشته باشد.

۳.۵ منظور از File Descriptor

در سیستم عامل کامپیوتری هر برنامه‌ای که کاربر می‌خواهد آن را اجرا کند یک عدد منحصر به فرد نامنفی به عنوان شناسه به آن برنامه اختصاص می‌یابد. این شناسه source Data را تعریف می‌کند و مشخص میکند که واحدهای مختلف مانند واحد حافظه چگونه و با چه شناسه‌ای می‌تواند به آن دسترسی داشته باشد. File Descriptor برای اولین بار در سیستم عامل Unix استفاده شد و سپس بعد از آن سیستم عامل‌های مدرن مانند ،Linux MacOS و حتی Windows و BSD از آن استفاده کردند. این عمل در سیستم عامل ویندوز به نام File handles می‌باشد [۶]، شکل شماره ؟؟.

۴.۵ منظور از Task Control Block (TCB)

این بلاک در حقیقت وضعیت یک تسک را در سیستم عامل نگهداری می‌کند. این وضعیت شامل مواردی مانند وضعیت فعلی فرایند، محل ذخیره‌سازی داده‌ها، شماره‌ی (اندیس) اطلاعات زمانبندی، اطلاعات مربوط به حافظه مورد استفاده و شناسه تسک جاری است. رسالت اصلی این اطلاعات آن است که به کرنل کمک کند تا تسک‌ها را از یکدیگر جدا نگه دارد. این ساختار داده به عنوان یک پل بین کرنل و فرایندها عمل می‌کند تا اطلاعات لازم را برای کرنل جهت اداره منابع و برنامه‌ها را فراهم سازد.



شکل ۱: قسمتی از فعالیت مربوط به file descriptor

۵.۵ منظور از non-preemption

یکی از رویکردهای مهم در سیستم عامل‌های RT می‌باشد که از مفاهیم اولیه سیستم عامل در زمانبندی انجام تسک‌ها آن را به یاد داریم. در کل به معنای آن است تا زمانی که پردازنده در حال انجام یک تسک می‌باشد، تا زمانی که فعالیت پردازنده روی آن تسک به پایان نرسیده باشد، پردازنده دیگری نمی‌تواند آن تسک را در اختیار بگیرد یا اینکه برای مثلا پردازنده‌ای دیگر بخواهد برای مدت زمان مشخصی اجرای آن را متوقف یا به طور کل قطع کند.

۶ سیستم مورد نظر این رویکرد

۱.۶ هدف اصلی

هدف اصلی در سیستم عامل‌های Real-Time رسیدن به فرمول زیر به بهینه‌ترین حالت ممکن می‌باشد:

$$t_{ir}^{lim} = t_{ir}^{req} - max(t_{fh}, t_{npl}) \quad (۱)$$

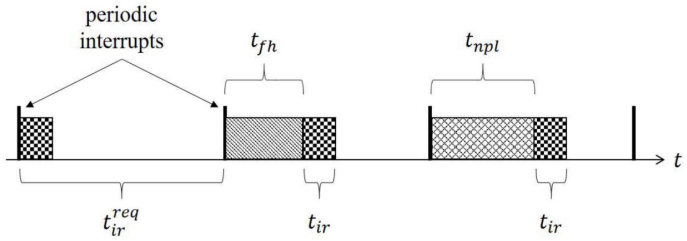
۱.۱.۶ تعریف مولفه‌های مربوطه

- t_{ir}^{req}: مدت زمانی که طول می‌کشد تا به وقفه پیش آمده در رخدادهای external مانند وقفه‌های تایمرها و وقفه‌های ورودی/خروجی پاسخدهی شود
- t_{fh}: مدت زمانی که طول می‌کشد تا fault hanlder یک برنامه (Binary) به مشکل خورده را غیر فعال کند. تابع fault hanlder در Thread های RT قابل کنترل هستند.
- t_{npl}: مدت زمانی که یک Thread در حال اجرا قفل غیر انحصاری را به دست می‌گیرد درست قبل از اینکه هر گونه وقفه‌ای رخ دهد.

هدف اصلی در این مقاله آن است که مدت زمان پاسخدهی بایستی از t_{ir}^{lim} کوچکتر و $t_{ir}^{lim} > 0$ باشد. بر اساس فرضیه، زمانی که Thread بخش RT مشغول است، وقفه‌های بعدی در نظر گرفته نمی‌شوند. بعد از اینکه یک برنامه شکسته شده به طور کامل متوقف شد، نیاز است که دوباره این برنامه به سرعت در چرخه اجرا قرار گیرد که تقاضای ایجاد شده از بین نرود. دومین هدف در این رویکرد آن است که اجرای مجدد برنامه شکسته شده در زمان t_{re}^{req} بدون مزاحمت به thread های RT دیگر صورت گیرد، شکل شماره ۲.

۲.۶ محافظت از حافظه و سربار اجرایی

اشتراک منابع بین تسک‌ها به صورت منطقی ممنوع است، اما تسک‌هایی مانند Message Queue و فرایند بین Pipeline ها که از دسته Intertask Communication یا ITC هستند می‌توانند از منابع یکدیگر استفاده کنند. از دلایلی که یک تسک می‌تواند به صورت مدیریت شده



شکل ۲: دو مورد از وقفه‌هایی که رسیدگی به آن‌ها به تاخیر افتاده است

به منابع تسک‌های دیگر دسترسی داشته باشد، آن است که واحد MPU محافظت از حافظه در سیستم وجود نداشته باشد. در پردازنده‌های سری ARM Cortex-M/R، یک واحد محافظت از حافظه MPU وجود دارد که ارتباط و دسترسی به حافظه فیزیکی را براساس هر منطقه از حافظه انجام می‌دهد [۲].

تعداد مناطقی که MPU اختصاص می‌دهد بین ۸ تا ۱۶ منطقه، متغیر می‌باشد. البته می‌توان متذکر شد که این تعداد منطقه می‌تواند وابسته به پیکربندی مشتری بر روی میکروکنترولر باشد. برای مثال، بعد از جست و جو مدل سری میکروکنترلر، به NXP i.MX RT1020 رسیدیم که از ۱۶ منطقه دسترسی حافظه MPU استفاده می‌کند [۷]. در ادامه بررسی می‌کنیم که منطقه از MPU شامل چه بخش‌هایی می‌باشد.

بخش‌های مهم حافظه MPU شامل موارد زیر است:

- بخش آدرس
- بخش اندازه منطقه
- بخش ویژگی‌ها (برای مثال بررسی سطوح دسترسی)

بخش ویژگی‌ها یا Attributes مشخص می‌کنند که یک منطقه از حافظه توسط چه پردازنده‌ای قابل استفاده برای تسک‌های مورد نظر خواهد بود. (بایستی در نظر داشت که هر منطقه از MPU براساس ویژگی‌هایی مانند قابلیت اجرا Executable و Read-only بودن تنظیم و پیکربندی می‌شود.) زمانی که یک پردازنده تلاش برای دسترسی به قسمتی از حافظه برای نوشتن در آن می‌کند، MPU نوع دسترسی آن پردازنده را بررسی می‌کند و یک Permission fault تولید می‌کند [۸] [۲].

سیستم عامل TizenRT به عنوان یک سیستم‌عامل قابل اطمینان و پایدار IoT باید از سه ناحیه MPU در RAM استفاده کند، هر کدام از ناحیه‌ها ویژگی‌های MPU متفاوتی برای محافظت از یک برنامه کاربر دارد. متن و داده‌های Read-only تنها در ناحیه فقط خواندنی MPU قرار می‌گیرد. داده‌های RW در ناحیه مناسب در حافظه کپی می‌شوند و بخش‌هایی مانند استک و هیپ در حافظه‌ای مشابه ایجاد می‌شوند.

اگر بدافزاری قصد حمله به سیستم عامل از طریق ویرایش متن و دسترسی به دیتا، برای اجرای برنامه خود داشته باشد، سیستم عامل از ورود آن جلوگیری کرده چرا که باعث آسیب پذیری و رخ دادن خطای داخلی در سیستم عامل می‌شود. همانطور که قبل‌تر بیان شد، Thread ها واحدی برای زمانبندی هستند به همین خاطر بعد از هر بار Context Switching بایستی سه ناحیه MPU به روز رسانی شود.

۱.۲.۶ نتیجه یک پروفایل و بنچمارک ساده با وجود محافظ و بدون وجود محافظ

برای ارزیابی سربار حاصل شده با وجود حافظه MPU آزمایشی ساده صورت گرفته است. دو Thread با بالاترین اولویت تنها یک تابع به نام sched_yield() را صدا می‌زنند. تابع sched_yield() Thread جاری را از پردازنده می‌گیرد و آن را به لیست آماده اجرای Thread ها بر می‌گرداند. در این بین باید توجه داشت که هیچ thread فعال دیگری با همان اولویت در حال اجرا نیست. بنابراین thread فراخوانده شده بعد از thread دیگر قرار می‌گیرد که منجر به اصلاح زمان کمتری برای عملیات Context switching می‌شود. هر Thread تابع sched_yield() را 5.10^6 بار صدا می‌زند که مقدار 10^7 بار عملیات Context switching تکرار می‌شود. نتیجه این آزمایش نشان می‌دهد که کمترین زمان عملیات Context switching با وجود MPU $5.568\mu s$ و بدون وجود MPU $5.466\mu s$ زمان می‌برد. می‌توان نتیجه گرفت که با وجود حافظه محافظ، سربار ۱/۸۷٪ در عملیات Context switching به وجود آمده است که این هزینه‌ی اضافی برای محافظ حافظه اجتناب ناپذیر است اما از نظر اجرایی بسیار بی‌اهمیت می‌باشد.

۳.۶ راه‌اندازی آزمایشی

در این آزمایش از محیط عملیاتی و سخت‌افزار زیر استفاده شده است:

۱. تمام عملیات سیستم عامل RT بر روی NXP i.MX RT1020 [۷] صورت گرفته است.

۲. حاوی پردازنده ARM و چیپ سری Cortex-M۷ با ۵۰۰ مگاهرتز

۳. سخت افزاری مناسب برای دستگاه‌های هوشمند و سیستم کنترل کننده موتور در وسایل هوشمند خانگی

۴. یک حافظه SRAM با حجم ۲۵۶ کیلوبات

۵. حافظه خارجی با حجم ۳۲ مگابایت SDRAM (Synchronous Dynamic RAM)

۶. سیستم عامل TizenRT نسخه ۳/۰ [۵]

۷. کامپایل سیستم عامل با نسخه ۶/۳/۱ کامپایلر ARM GCC

۸. استفاده در توزیع Ubuntu نسخه ۱۴/۰/۴

۷ سیستم عامل قابل اطمینان و پایدار IoT

از آنجایی که پایداری سیستم عامل برای تجهیزات IoT امری بسیار ضروری است، چرخه فعالیت تمام برنامه‌های کاربر بایستی مدیریت و کنترل شوند. چرخه زندگی و فعالیت یک برنامه کاربر می‌تواند اجرا در زمان بوت شدن باشد، یا اجرای مجدد آن برنامه به دلیل آنکه خطایی یا شکست در برنامه‌ای رخ داده است باشد. این سیستم عامل بجای متوقف کردن کل سیستم عامل به دلیل خطای رخ داده، آن برنامه‌ای که حاوی خطا است را پیدا می‌کند و به مدیریت برنامه (Binary Manager) اطلاع می‌دهد که چه برنامه‌ای هم اکنون دچار شکست شده است. این امر امکان پذیر است چرا که محافظ حافظه تضمین می‌کند که خطای رخ داده تنها در یک برنامه کاربر اتفاق افتاده است تا آن را از سیستم عامل جدا کند که از سرایت خطا به بخش‌های دیگر جلوگیری نماید. مدیر برنامه درخواست‌های متعددی را رسیدگی می‌کند. از واحد رسیدگی خطا و شکست برنامه گرفته تا راه‌اندازی اولیه سیستم عامل و حتی به روز رسانی برنامه کلاینت.

واحد مدیر برنامه می‌تواند حافظه heap برنامه کاربر را به صورت مناسب در زمان اجرا [۳] تنظیم کند. برای مثال زمانی که برنامه کاربر درخواست افزایش حافظه heap را صادر می‌کند و بعد از آن در هنگام اجرا به خطای malloc() مواجه می‌شود واحد مدیر برنامه، برنامه به خطا خورده و حافظه کمکی‌اش را راه‌اندازی مجدد می‌کند تا بتواند ادامه فرایند را طی کند. علاوه‌بر این زمانی که برنامه کاربر حافظه حجیمی از heap را رزرو می‌کند ولی از آن به صورت مناسب استفاده نمی‌کند، واحد مدیر برنامه قادر به آن است که این حافظه را از برنامه کاربر بگیرد تا باعث سربار اضافی در سیستم نشود.

مراجع

[۱] Samsung، S/W Platform for Digital Appliance: Part I. TizenRT، SDC۲۳، (۲۰۲۱).

[۲] ARM، technical reference manual، (۲۰۱۰).

[۳] NuttX-Gregory Nutt، Available: https://cwiki.apache، Online، (۲۰۲۰).

[۴] S. Sahu، "TizenRT demo: Use bixby to control SmartThings-enabled devices"، Presented at the Samsung Develop. Conf. (SDC), San Francisco, CA, USA، (۲۰۱۹).

[۵] Available: https://github.com/Samsung/TizenRT/، Online، (۲۰۲۰).

[۳] Runtime

[۶] Computer Hope، File Descriptor، F-Definitions (آخرین به روز رسانی در ۲۰۲۱/۱۳/۰۳).

[۷] ARM، i.MX RT1020 Crossover Processor for Consumer Products: Manual (۲۰۲۲).

[۸] ARM، cortex-m7 generic user guide (۲۰۱۵، ۲۰۱۸).