不要なデバイスを無効化するハイパーバイザー DeviceDisEnabler

須崎有康　(Kuniyasu Suzaki)

国立研究法人　産業技術総合研究所

情報技術研究部門

Bitvisor Summit 4, Tokyo, 26/Nov/2015

アウトライン

- モバイルガジェットの高性能デバイスを使ったサイバーエスピオナージ(電子的諜報活動)
- デバイスを認識させないハイバーバイザー DeviceDisEanbler
  - ハイバーバイザーによるデバイスの隠蔽
  - TPMに隠した暗号鍵による改竄防止
- まとめ

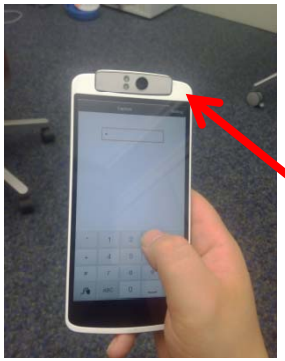
デバイスの性能を知ってますか？

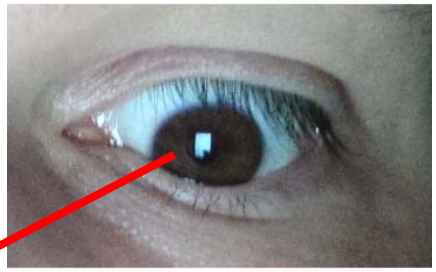
- デジタルカメラ
  - 1M pixel以上
- マイク、スピーカ
  - CD クオリティ (44.1kHz)以上
- GPS
  - 10m以内の位置検出
- ジャイロスコープ
  - 20 Hz以上のサンプリング

高性能デバイスはサイバーエスピオナージ(諜報活動)の格好のターゲット。

Facial Reflection Keylogger

[T.Fiebig, WOOT'14]



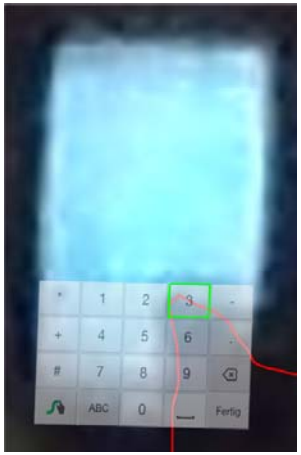


このカメラが顔(目)の写真を撮ります。

ズーム

親指検出

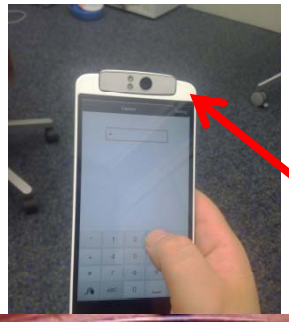
キーボードをマップ



T.fiebig, j.krissler and r.hanesch, "Security Impact of High Resolution Smartphone Cameras" woot 2014.
https://www.usenix.org/conference/woot14/workshop-program/presentation/fiebig

Facial Reflection Keylogger

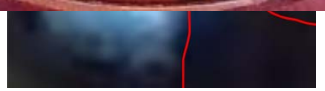
[T.Fiebig,

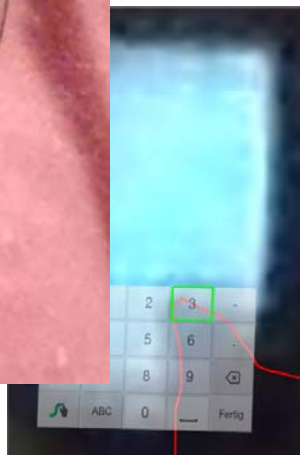


顔（目）の写真

ズーム

ードをマップ

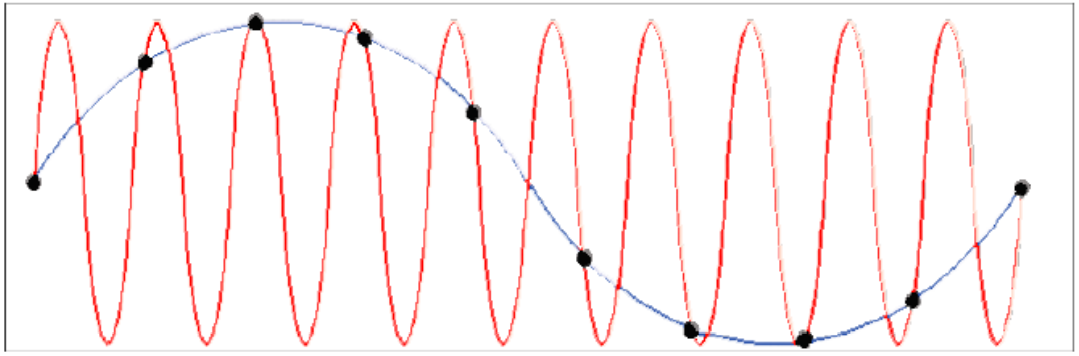




T.fiebig, j.krissler and r.hanesch, “Security Impact of High Resolution Smartphone Cameras" woot 2014.
https://www.usenix.org/conference/woot14/workshop-program/presentation/fiebig

ジャイロスコープによる盗聴

- Gyrophone [USENIX Security 14, BlackHat Europe 14] はジャイロスコープで音声の解析ができることを示した。
  - 利点: マイクの使用には許可を取る必要があるが、ジャイロスコープは必要なし。
  - 問題点 : ジャイロスコープのサンプリングは 20-200Hzで音声(男性 85 - 180 Hz, 女性 165 - 255 Hz)が取れない。
  - エイリアシングによって音声が解析できることを示した。



Y.Michalevsky, D.Boneh, and Gabi Nakibly, “Gyrophone: Recognizing Speech from Gyroscope Signals”, https://www.usenix.org/conference/usenixsecurity14/technical-sessions/presentation/michalevsky

その他の脅威

- モバイルガジェットのデバイスは攻撃者ばかりでなく、ユーザ（社員）も使いたい！

- **ユーザ(社員)が対応策を回避するかもしれない。**

- 管理者は攻撃者ばかりでなく、ユーザも対象として対策技術を考えなくてはならない。

提案する対策方法

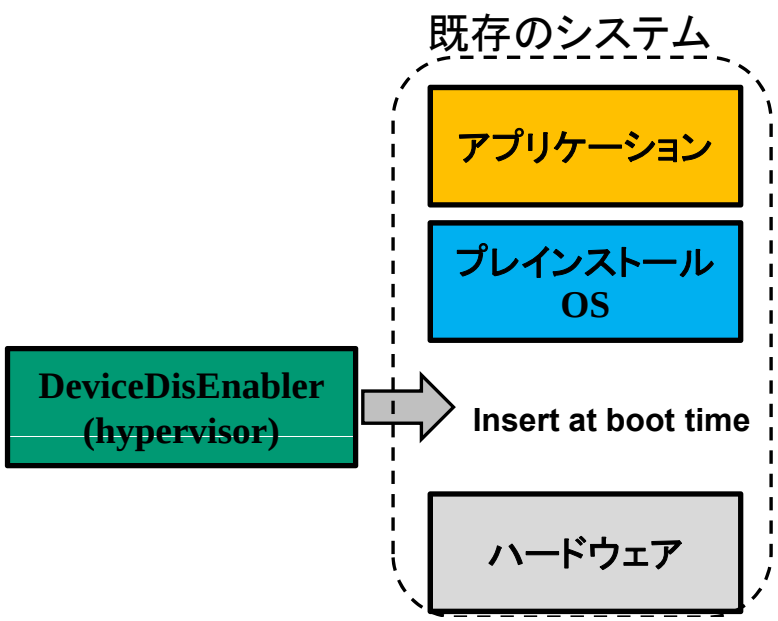
- ***"DeviceDisEnabler (DDE)":*** サイバーエスピオナージと改竄を防止する軽量ハイパーバイザー

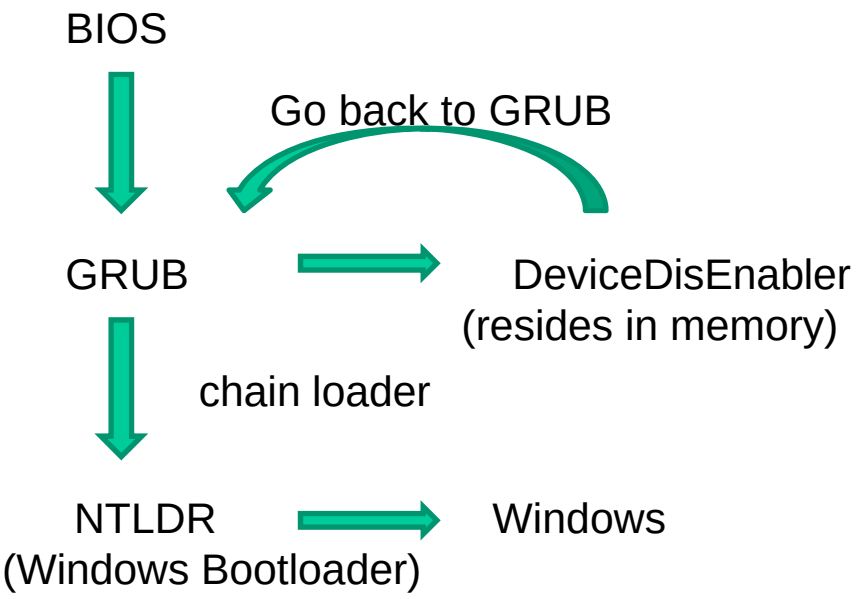
  特徴

  1. 多くのモバイルガジェットに適用とするため、軽量で既存OSに挿入可能なハイパーバイザー
  2. OSからデバイスを隠蔽
  3. 改竄防止 (回避防止)
     - ハードディスクの一部をDDEが暗号化するので、DDEなしではOSを立ち上げることが出来ない。
     - 暗号鍵はユーザから隠蔽されている。

(1) 挿入可能なハイパーバイザー

- 軽量のタイプI (ベアメタル) ハイパーバイザー
  - パラパススルーアーキテクチャ(BitVisor[VEE'09])
    - デバイスモデルが無く、ゲストOSがデバイスに直接アクセスできる。
  - 小さなトラステッドコンピューティングベース(TCB)
    - BitVisorはHostOS を必要とせず、TCBを小さくできる。
- DDE はブートローダのチェインロードを使ったOSの起動前に挿入される。





(2) PCIデバイスの隠蔽

- モバイルガジェットには多くのPCIデバイスがある。
- Tool: PCI-Z
  - http://www.pci-z.com/

(ThinkPad Helix)

PCI-Z 1.3 - PCI devices information utility

File Database Report Help

System information
CPU name: Intel(R) Core(TM) i5-3427U CPU @ 1.80GHz, 4 logical CPUs
Computer name: LENOVO-PC
User name: knoppix
Operating system: Microsoft Windows 8
Available memory (MB): 3914

Type	Vendor	Device	Subsystem	PCI device
SMBus	Intel Corporation	7 Series/C210 Series Chipset Family SMBus Controller		VEN_8086&DEV_1E22&SUBSYS_220717AA
Serial controller	Intel Corporation	7 Series/C210 Series Chipset Family KT Controller		VEN_8086&DEV_1E3D&SUBSYS_220717AA
PCI bridge	Intel Corporation	7 Series/C210 Series Chipset Family PCI Express Root Port 2		VEN_8086&DEV_1E12&SUBSYS_220717AA
ISA bridge	Intel Corporation	QS77 Express Chipset LPC Controller		VEN_8086&DEV_1E56&SUBSYS_220717AA
USB controller	Intel Corporation	7 Series/C210 Series Chipset Family USB Enhanced Host Controller #1		VEN_8086&DEV_1E26&SUBSYS_220717AA
Host bridge	Intel Corporation	3rd Gen Core processor DRAM Controller		VEN_8086&DEV_0154&SUBSYS_220717AA
VGA compatible con...	Intel Corporation	3rd Gen Core processor Graphics Controller		VEN_8086&DEV_0166&SUBSYS_220717AA
Audio device	Intel Corporation	7 Series/C210 Series Chipset Family High Definition Audio Controller		VEN_8086&DEV_1E20&SUBSYS_220717AA
SATA controller	Intel Corporation	7 Series Chipset Family 6-port SATA Controller [AHCI mode]		VEN_8086&DEV_1E03&SUBSYS_220717AA
PCI bridge	Intel Corporation	7 Series/C210 Series Chipset Family PCI Express Root Port 1		VEN_8086&DEV_1E10&SUBSYS_220717AA
USB controller	Intel Corporation	7 Series/C210 Series Chipset Family USB xHCI Host Controller		VEN_8086&DEV_1E31&SUBSYS_220717AA
USB controller	Intel Corporation	7 Series/C210 Series Chipset Family USB Enhanced Host Controller #2		VEN_8086&DEV_1E2D&SUBSYS_220717AA
Communication cont...	Intel Corporation	7 Series/C210 Series Chipset Family MEI Controller #1		VEN_8086&DEV_1E3A&SUBSYS_220717AA
Network controller	Intel Corporation	Centrino Advanced-N 6205 [Taylor Peak]		VEN_8086&DEV_0085&SUBSYS_C2208086

Database: The PCI ID Repository | Version: 2014.11.15 | htt

Right click on the list for options.

OSがPCI上のデバイスを認識する仕組み

- OS がPCIバス上のデバイスを認識するには、**“PCI configuration Space”**の情報を使う。
  - これにはベンダーID, デバイスID, デバイスクラス, メモリマップアドレスなどの情報含む。
    - ベンダーID はPCI-SIGによって定義されている。

PCI Configuration Space

- PCI configuration space はPCI, PCI-X, およびPCI Expressでデバイスの自動認識を行うための 基盤技術

- PCI configuration space は2つのレジスタ(I/O ports)で構成

  1. PCI Address Register　　I/O port: 0x0cf8

31	30 29 28 27 26 25 24	23 22 21 20 19 18 17 16	15 14 13 12 11	10 09 08	07 06 05 04 03 02	01	00	
EN	Reserved	Bus No	Dev No	Fun No	Register Address	0	0	0x00

  2. PCI Configuration Register　I/O port: 0x0cfc

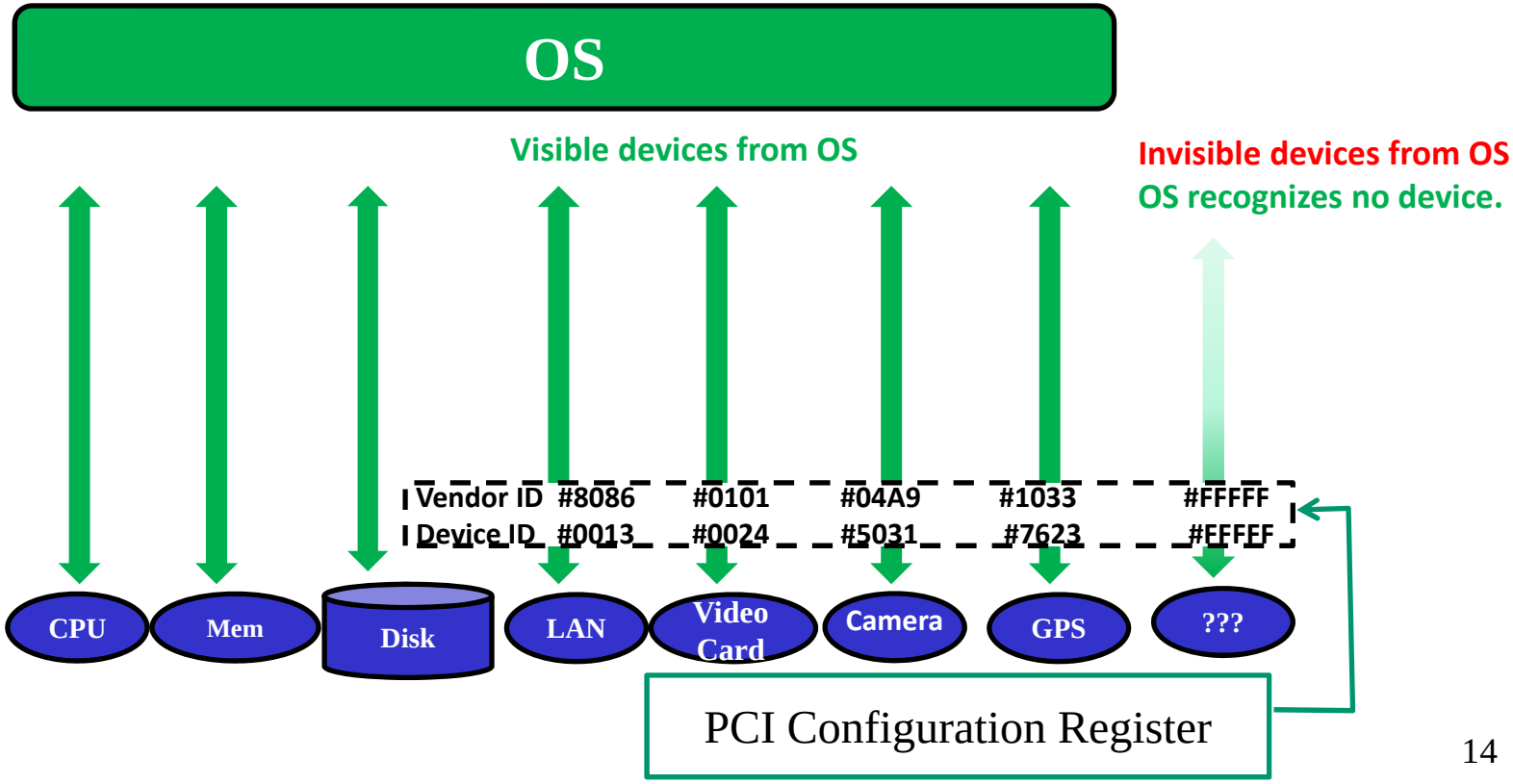
PCI Configuration Register

- I/O port: 0x0cfc

31 30 29 28 27 26 25 24	23 22 21 20 19 18 17 16	15 14 13 12 11 10 09 08	07 06 05 04 03 02 01 00	
Device ID		Vendor ID		0x00
Device Status		Device Control		0x04
Class Code			Revision ID	0x08
	Header Type			0x0c
Base Address 0				0x10
Base Address 1				0x14
Base Address 2				0x18
Base Address 3				0x1c
Base Address 4				0x20
Base Address 5				0x24
				0x28
Subsystem ID		Subsystem Vendor ID		0x2c
				0x30
Reserved				0x34
Reserved				0x38
		Interrupt Pin	Interrupt Line	0x3c
Undefined				0x40 ~ 0xfc

通常のOSによるデバイス認識

- PCIバス上のデバイスを知る為に、OSはI/Oポートをスキャンする。
- x86/AMD64アーキテクチャCPU では**I/O 命令 (i.e., IN またはOUT)**を使ってI/Oポートにアクセスする。
  - VendorID, DeviceIDが”#FFFF”の場合はデバイスが無いことを示す。

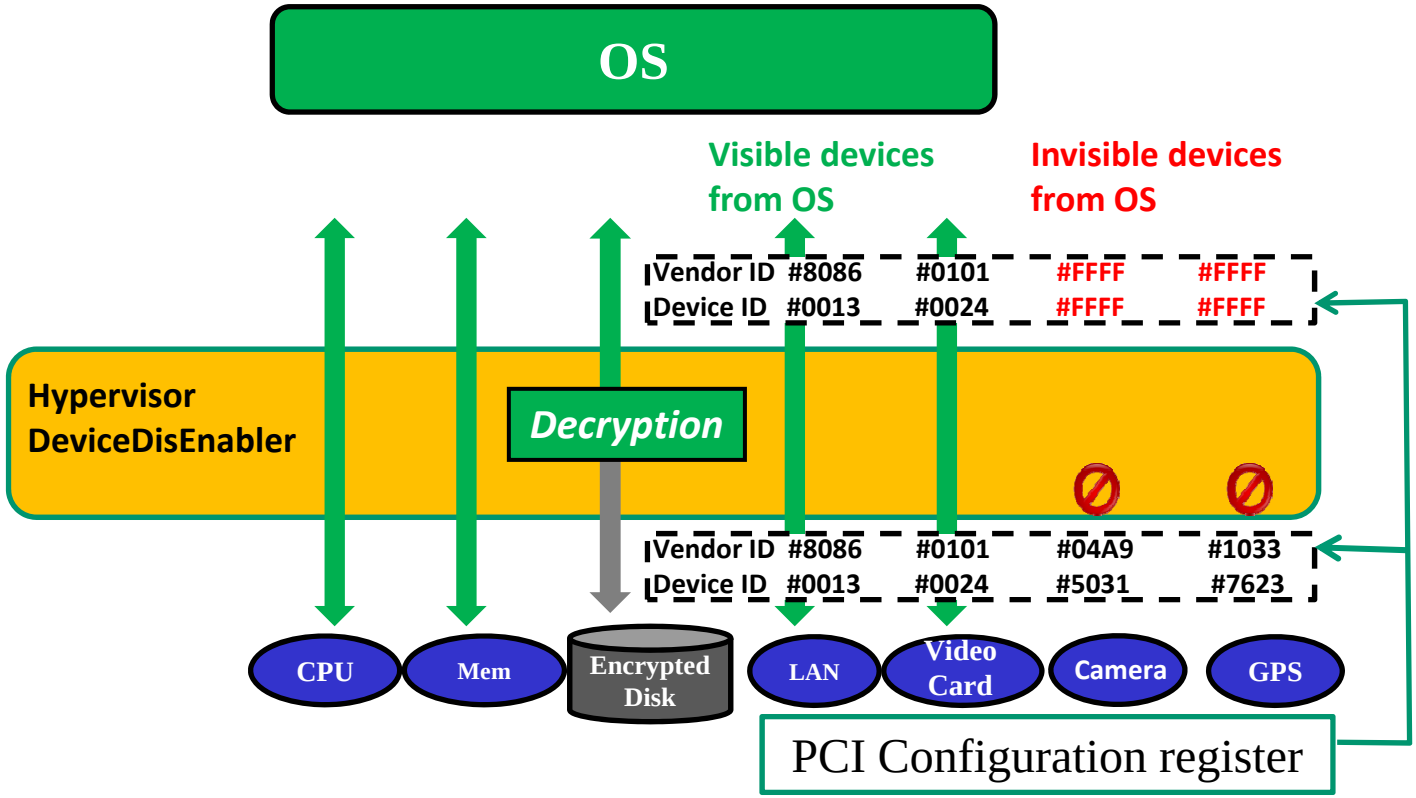


DDEによるデバイス隠蔽 (1/2)

- DDEは***Intel&AMD 仮想化アーキテクチャ***によってI/O命令に介在できる。
  - OSから実行された/O instruction (INまたはOUT)はIntel&AMD の仮想化アーキテクチャによってトラップされる。その制御はハイパーバイザーでさるDDEに移る。
- I/O命令がPCI configuration spaceに発行された際にDDEはその内容をチェックする。

DDEによるデバイス隠蔽（2/2）

- DDEはPCI configuration Registerが隠すべきデバイスのものと認識した場合、VendorID とDeviceID に#FFFFを返す。
- OSはデバイスが無いものとして認識して、デバイスが使われることが無い。
  - この効果はBIOSによる隠蔽と同じ。



DDEによるデバイス隠蔽

- DDEは2種類のタイプでデバイスを隠蔽できる
  - デバイス製品毎 (Vendor ID and Device ID)
    - 個々のデバイスでなく、ベンダーのこの製品という単位
  - カテゴリ毎 (PCI device class codeの定義による)

Vendor ID	Vendor name
0x05ac	Apple, Inc.
0x04B3	IBM
0x1010	Video Logic Ltd.
0x104D	Sony Corporation
0x1061	8x8 Inc.
0x106B	Apple Inc.
0x13B5	ARM Ltd
0x12E1	Nintendo Co. Ltd.
0x13B5	ARM Ltd
0x15AD	VMware Inc.
0x15C6	Technical University Of Budapest
0x8086	Intel Corporation
0x8087	Intel
0xA304	Sony
0xF5F5	F5 Networks Inc.

Class code	Class Name
0x00	Unclassified device
0x01	Mass storage controller
0x02	Network controller
0x03	Display controller
0x04	Multimedia controller
0x05	Memory controller
0x06	Bridge
0x07	Communication controller
0x08	Generic system peripheral
0x09	Input device controller
0x0a	Docking station
0x0b	Processor
0x0c	Serial bus controller
0x0d	Wireless controller
0x0e	Intelligent controller
0x0f	Satellite communications controller
0x10	Encryption controller
0x11	Signal processing controller
0x12	Processing accelerators
0x13	Non-Essential Instrumentation
0xff	Unassigned class

(3) 改竄防止(回避防止)

- 残念ながらユーザがハイパーバイザーを取り除いて、あるいは改竄して、デバイスを使う可能性を排除できない。

- DDEの対応策
  - DDEはディスクの一部を暗号化し、DDE無しではOSが起動できないようにしたい。

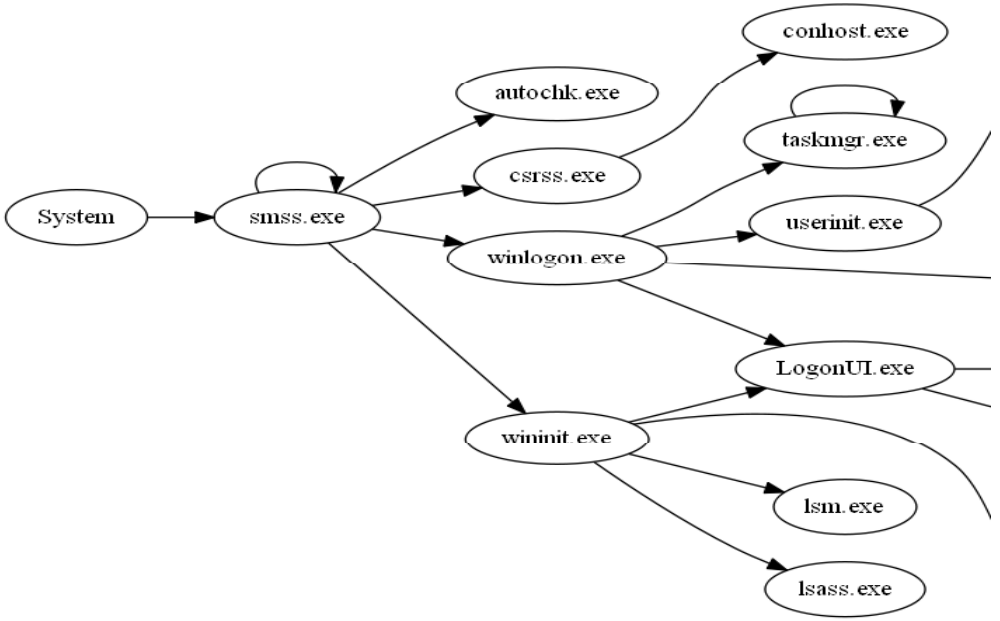
- 問題点
  - 残念ながらOS(Windows)の起動を止めるのは簡単ではない。

OSのブートを止める困難点

- BitVisor はハードディスクの領域(blocks)を暗号化する機能を持っている。
  - ディスクが盗まれた場合の機密保持には有効
- 残念ながらBitVisorのディスク暗号化をWindows のパーティションに適用できない。なぜならブートシーケンスの一部はハイパーバイザーを経ないでアクセスしている。
  - 推測:Kennelを立ち上げるブートシーケンスのどこがでBIOSを使ったディスクアクセスがあり、それをBitVisorが補足できない。
  - このため、DDEがパーティションの暗号化を復号しても、OSは起動できない。
- （補足）Linuxならディスクをminirootと RootFSの２つのパーティションを分けられる。minirootはカーネルを起動するのに使われ、RootFSはルートファイルシステムのマウントに使われる。DDEはRootFSのパーティションを暗号化することでLinuxの起動を適切に停止することが出来る。

Windowsの起動の止め方

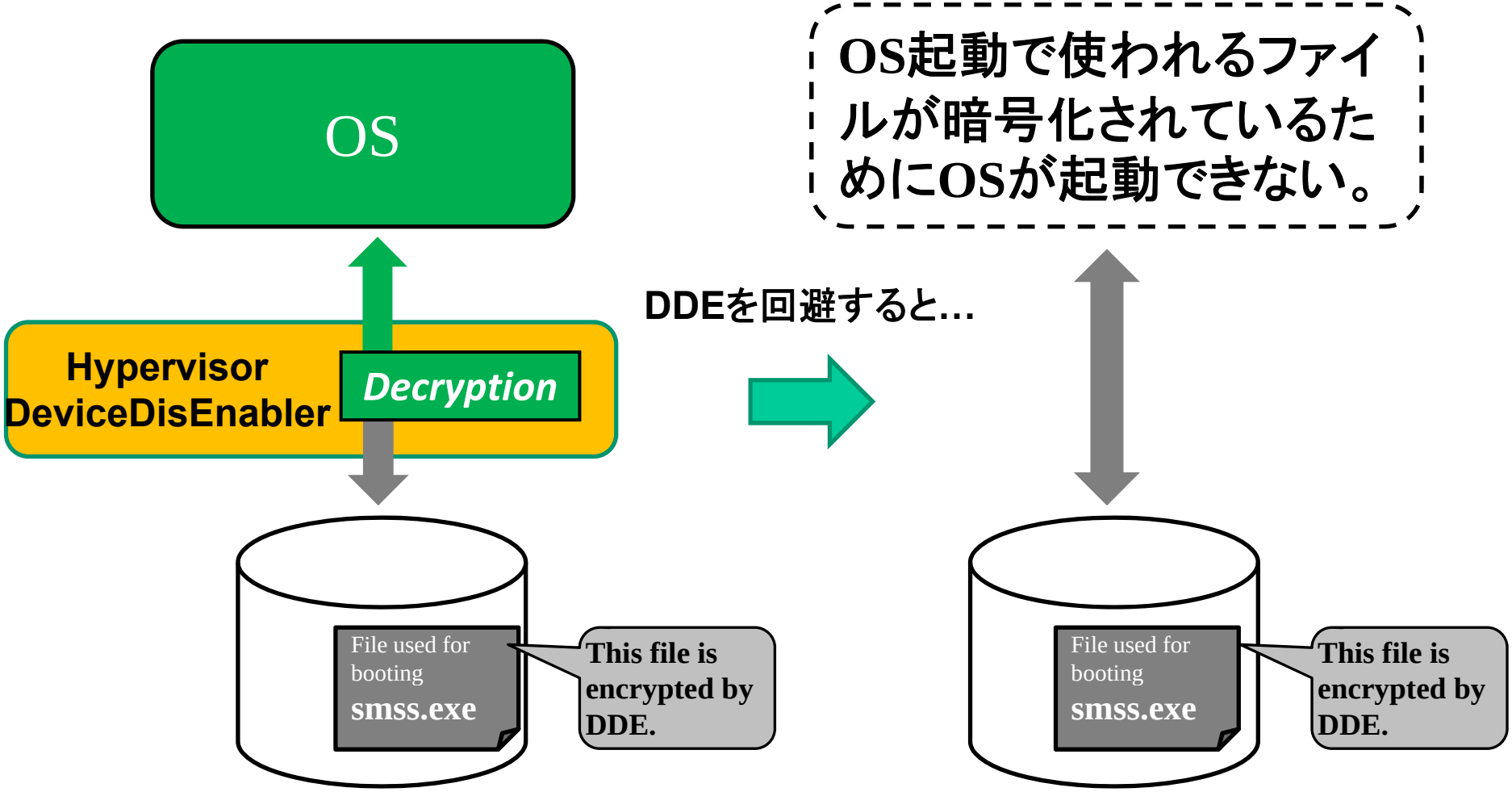
- カーネルの起動を止めるのでなく、カーネルの起動後のユーザ空間の処理を止める。
- OSのユーザ空間のブートシーケンスを解析して、起動に必要なファイルのいずれかを暗号化する。
- 今回はsmss.exeを選択
  - DDEによってファイルが復号されなければ、OSを適切に起動できない。



ファイルに割り当てられたブロックの見つけ方

- (問題点) ファイルに割り当てられたNTFSのディスクブロックを見つけるのは簡単ではない。
  - Mark Roddyが提供したツールを活用。
    - getFileExtents.exe
    - http://www.wd-3.com/archive/luserland.htm
  - getFileExtents はWindows7では正しく動く。しかし、Windows8はより強いセキュリティ機構があり、getFileExtents が正しく動かない。
    - Windows8では“initFileTranslation” ハンドラが有効にならない。
  - Windows8のために “dd” コマンドでディスクをコピーし、Windows7でそのディスクをマウントした。これによりgetFileExtentsを使ってファイルのディスクブロック を見つけることが出来た。

DDEによるWindows起動の停止



- これによって一応の改竄防止が出来たが、、、

リカバリメカニズムとの戦い

- 最近のOSは自動リカバリメカニズムを持つ。
  - リカバリメカニズムで壊れたファイルを修復してしまう。
    - 例 Windows RE (recovery environment)
- 現在の実装では、管理者がWindows8のリカバリメカニズムを停止する必要がある。

- この問題は解決していないが、根本問題は再インストール攻撃と同じ。
  - ユーザが再インストールを行えば、多くの対処技術は防ぐことは出来ない。

暗号鍵の隠蔽

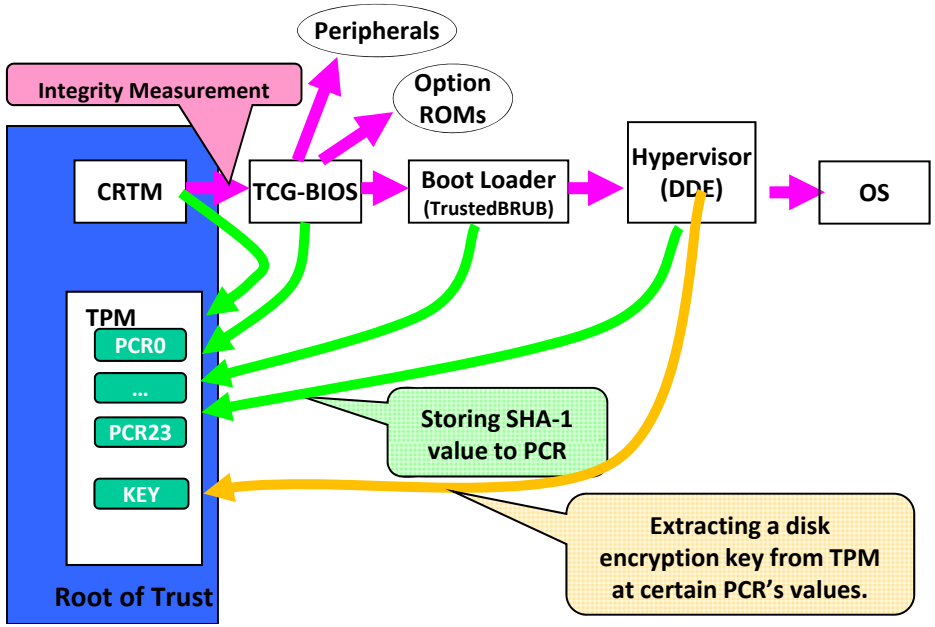
- **DDEの暗号鍵はユーザに知られてはならない。**
- BitVisor では暗号鍵をただ単にバイナリに含ませるだけ。
  - 攻撃者は簡単にバイナリを比較することで鍵を取りだすことができる。

- DDEはセキュリティチップTPM (Trusted Platform Module)に鍵を隠す方法を実装した。
  - ***“Trusted Boot”と“TPM non-volatile storage”の活用***

TPMに鍵を隠蔽する方法 (1/3)

- TPMを基軸とするTrusted Bootはブートシーケンスを計測し、それの完全性を検証する仕組みを持つ(Chain of Trust)。
  - 各ブートシーケンスのSHA-1値は、“extend” 操作でTPMのPCR (Platform Configuration Register) に保存される。
    - *PCR=SHA-1(PCR + SHA-1(Component))*
  - PCRの値はブートシーケンスのステージを表している。

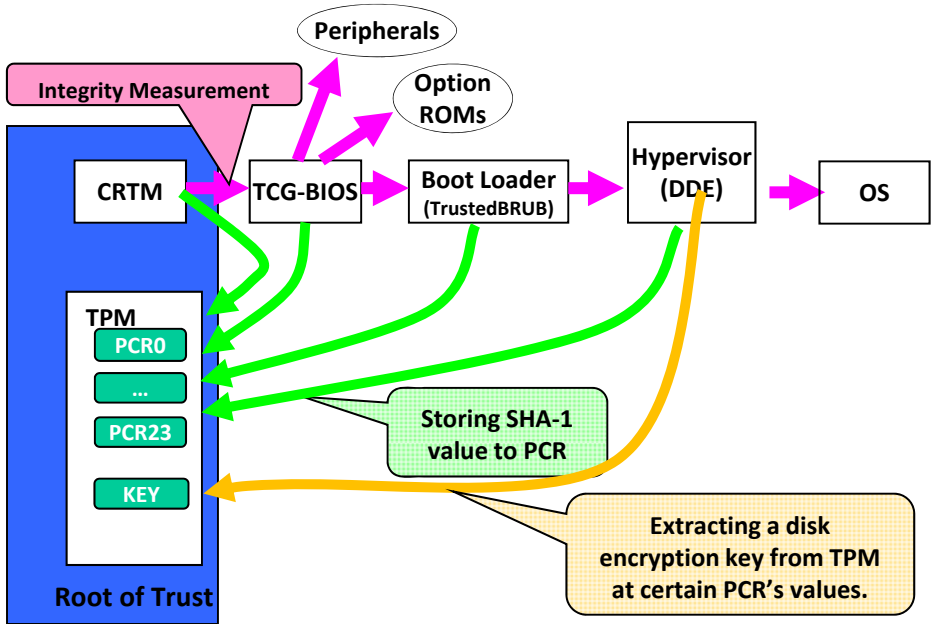
Each PCR represents category of action.



TPMに鍵を隠蔽する方法 (2/3)

- Chain of Trustを維持するためには各コンポーネントが次のコンポーネント計測する機能が必要。
  - モバイルガジェットはTPMと同様にTCG-BIOSに対応する必要がある。
  - ブートローダも計測機能を持たなければならない。
    - Trusted GRUB　http://sourceforge.net/projects/trustedgrub

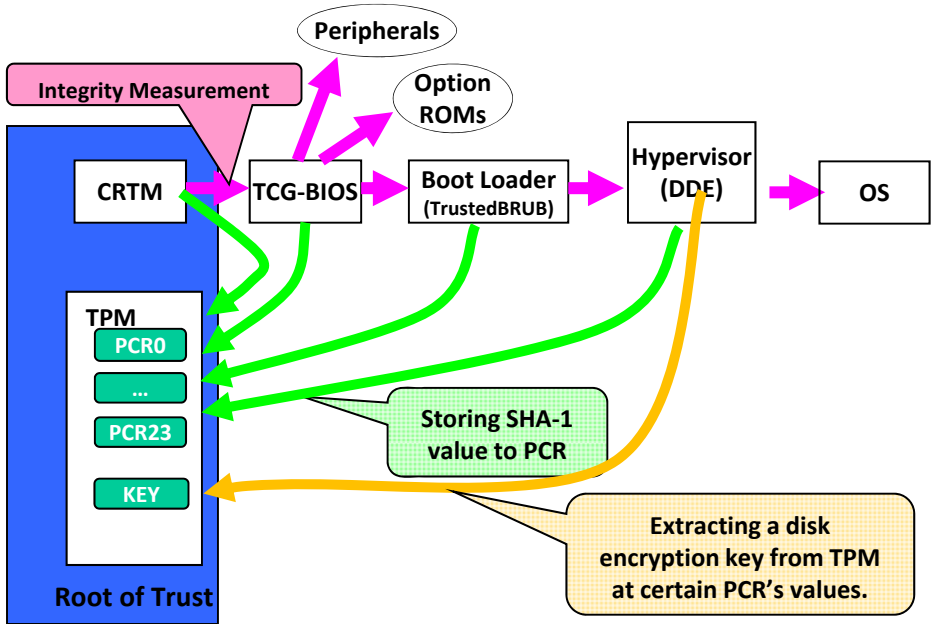
Each PCR represents category of action.



TPMに鍵を隠蔽する方法 (3/3)

- 暗号鍵はTPM内に保存することが可能。その鍵は特定のPCR値のみに取り出せるように設定できる。
  - PCR値が変化すれば(DDEが改竄されれば)、PCR値が異なり、暗号鍵を取りだすことが出来ない。
- これにより**ユーザはDDEを使わざるを得ない**。

Each PCR represents category of action.



Chain of Trust

- ThinkPad Helixでのブートシーケンス
  - 起動で使われるデバイスやソフトウェアは TPMに記録される。
    - *PCR=SHA-1(PCR + SHA-1(Component))*

各PCR はカテゴリ毎の動作を示している。

PCR SHA1 Event

```
 0 4b81c044c1472a34c73da87d7ad3a64ba62e9047 08 [S-CRTM Version]
 6 fcad787f7771637d659638d92b5eee9385b3d7b9 05 [Wake Event 6]
 0 8841e9e7d8eb4c753d2ef7dc9f89a07c756cb30b 07 [S-CRTM Contents]
 0 3d9766e45814d6374d9a85aa519071dc82574017 01 [POST CODE]
 1 b83f6c64a1727add477a94874f3f11f29d531c47 09 [CPU Microcode]
 4 9069ca78e7450a285173431b3e52c5c25299e473 04 []
 2 199804c152f10535cd88f8f5d607ae55e9e2f3ef 06 [Option ROM]
 5 cd0fdb4531a6ec41be2753ba042637d6e5f7f256 80000007 []
 0 afbf30b554a35d0ba6a469934d35cf9f58eec6af 80000009 []
 1 8de522ea7b732f0bf261ed931245c5c7e75fedbb 80000009 []
 0 9069ca78e7450a285173431b3e52c5c25299e473 04 []
 1 9069ca78e7450a285173431b3e52c5c25299e473 04 []
 2 9069ca78e7450a285173431b3e52c5c25299e473 04 []
 3 9069ca78e7450a285173431b3e52c5c25299e473 04 []
 5 9069ca78e7450a285173431b3e52c5c25299e473 04 []
 6 9069ca78e7450a285173431b3e52c5c25299e473 04 []
 7 9069ca78e7450a285173431b3e52c5c25299e473 04 []
 1 1f3c97f0b6d45a46ec1aa91e5868322dea94d76c 80000002 []
 4 c1e25c3f6b0dc78d57296aa2870ca6f782ccf80f 05 [Calling INT 19h]
 4 d564bb707b030e193fdd3ddae8818703225c49c3 05 [Booting BCV Hard
Disk]
 4 f2e7a20ef1397308f937841b55040905ff7cabca 0d [IPL]
 5 c358aaa78d400ad539f90d542e5519aa4e403714 0e [IPL Partition Data]
 4 e479a239ff8d17b2391782a86e19ca873ec6536c 0d [IPL]
```

TPM non-volatile storage

- TPM は***“TPM non-volatile storage”***と 呼ぶストレージシステムがあり、特定のPCR値の時にのみデータが取り出せる。
- DDEの暗号鍵をTPM non-volatile storageに保存して、DDEの改竄を防ぐ。
  - DDEが改竄されるとPCR値が異なり、鍵が取り出せない。

- Reference
  - TPM Main Part 3 Commands, Specification Version 1.2, Level 2 Revision 116, 1 March 2011

http://www.trustedcomputinggroup.org/files/static_page_files/72C33D71-1A4B-B294-D02C7DF86630BE7C/TPM_Main-Part_3_Commands_v1.2_rev116_01032011.pdf

TPM non-volatile storageのインターフェイス

- TPM non-volatile storageへは TCG-BIOSが提供するAPIによってアクセスできる。

API of TCG BIOS	Description
TPM_NV_DefineSpace	•TPM non-volatile storageの領域を確保するAPI •領域へのアクセスは“index” 番号を通して行う •特定PCR値の時のみにアクセスできるように制限可能
TPM_NV_WriteValue	•TPM non-volatile storageにデータを書き込むAPI •登録したPCR値の時のみアクセスできる。
TPM_NV_ReadValue	•TPM non-volatile storageにデータを読み出すAPI •登録したPCR値の時のみアクセスできる。

TPM non-volatile storageの具体例

- アクセスのためのIndex番号を持つ。
- この領域へはPCR[0-7,12-14] が登録されたハッシュ値の時のみRead/Write可能となる。

On ThinkPad Helix

```
# tpm_nvinfo
      NVRAM index   : 0x00010016 (65558)
      PCR read  selection:
      PCRs   : 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 12, 13, 14
      Localities   : 0x7
      Hash   : bcea2524269cafd359d69caa850e209481feeec4
      PCR write selection:
      PCRs   : 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 12, 13, 14
      Localities   : 0x7
      Hash   : bcea2524269cafd359d69caa850e209481feeec4
      Permissions   : 0x00000000 ()
      bReadSTClear  : FALSE
      bWriteSTClear : FALSE
      bWriteDefine  : FALSE
     Size          : 32 (0x20)
```

PCRs to verify

Hash of values of PCRs

PCRs to verify

Hash of values of PCRs

TPM内のPCR具体例

On ThinkPad Helix

Trusted GRUB はPCR[12-14]を利用

TPM non-volatile storageから鍵を取り出すにはPCR[0-7, 12-14]を使う。

PCR[0-7] はTrusted GRUB以前のブートシーケンスを検証するのに使う。

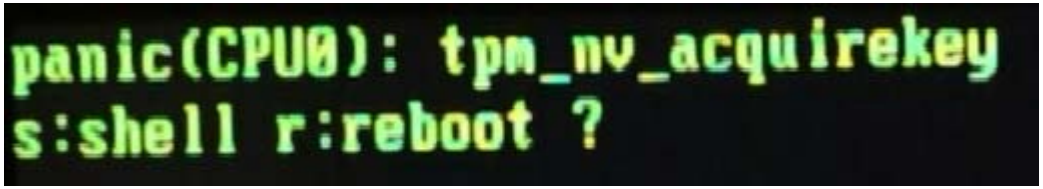
DDEが改変されるとPCR[12-14] が変わり、鍵が取り出せない。

Original DDE

```
PCR-00: 27 CD 64 2F DA 95 EA 09 3B 8C AE BC 68 9F FA C7
2A 59 76 01
PCR-01: E2 60 C4 57 A9 DC 8B C1 3C 5D E8 23 9F 2B 6B 71
86 19 72 19
PCR-02: F2 E5 65 2A DC 7F 57 8A F0 89 9D F1 0F 6B AE A1
13 08 19 E2
PCR-03: B2 A8 3B 0E BF 2F 83 74 29 9A 5B 2B DF C3 1E A9
55 AD 72 36
PCR-04: AA C6 8F 43 8F 5C 23 4E BD 70 F7 46 7D 51 18 4E
BD A3 CA 55
PCR-05: 01 C2 F5 26 13 11 B9 6F 4B BF A4 39 14 AC CA 6B
CD A2 65 41
PCR-06: EE 1B 0F 99 7D 75 17 B2 86 BC 9D 73 A4 CF 74 2C
65 A7 69 BE
PCR-07: B2 A8 3B 0E BF 2F 83 74 29 9A 5B 2B DF C3 1E A9
55 AD 72 36
PCR-08: 93 41 C4 1A 6D EA 42 08 65 16 B8 4B AF AF 48 3C
CD 96 36 91
PCR-09: 1B 60 78 EA 42 8E FA 3A 2A D2 A9 7E 22 04 90 7C
1A E6 33 A9
PCR-10: 3D C7 DF C4 CB B0 EC D3 9F B2 75 14 4B 41 E0 42
52 AF C1 17
PCR-11: 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00
00 00 00 00
PCR-12: 98 CB C3 5A 43 22 54 CB CB DD E6 04 30 B1 89 D9
54 E4 E7 F8
PCR-13: 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00
00 00 00 00
PCR-14: FB 17 F0 8C C8 F0 1F D6 8B 96 63 14 63 54 70 A4
```

起動の失敗

- DDE が改変されるとTPM non-volatile storageから暗号化鍵が取り出せない。



現状の実装

- DDE は下記の条件のノートPC、タブレットで動作可能
  - 仮想化命令(Intel VT, AMD-SVM)が使えるx86/ADM64 CPU
  - DDEのために128MBのメモリが必要
  - TPM 1.2
  - TCG BIOS (EFIは現在非対応)
  - PCI デバイスのみ制御可能
  - OS 非依存(動作確認はWindows 7,8,Linuxで行った)

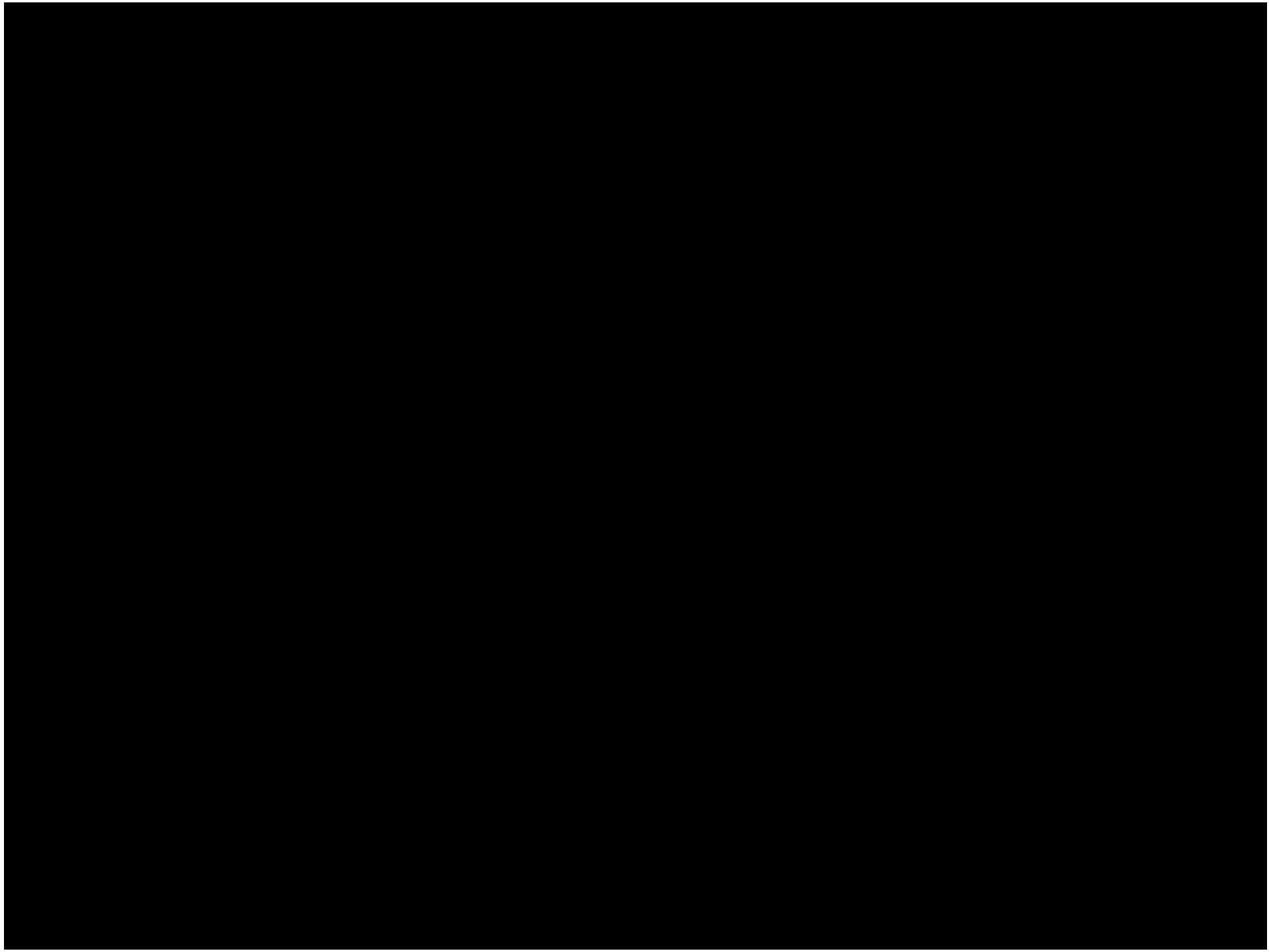
デモビデオ

- 3つのブート
  - Windows8のスタンドアローンブート
    - smss.exe がDDEよって復号されないのでブートが失敗する。
  - Customized DDE
    - 暗号鍵が取得できないのでブートが失敗する。
  - DDE起動後のWindows8の起動
    - 正しくブート！

Just Fun!

Trusted GRUB has 3 boot options

- Windows 8
- Hacked DDE (Customized DeviceDisEnabler)
- DDE



まとめ

- モバイルガジェットの高解像度デバイスはサイバーエスピオナージ（諜報活動）で使われる危険性がある。

  - 管理者はこれらの不要なデバイスを職場で禁止したい。
- デバイスをOSから隠蔽する軽量ハイパーバイザー“DeviceDisEnabler”を提案した。
- DeviceDisEnabler はTPMを活用した改竄防止機能を含んでおり、ユーザからの回避を防ぐ。

- 今後の予定
  - EFI boot対応。(Microsoft Surfaceでの活用)
  - USBデバイス隠蔽