



Herkomst van beelden

Inhoudsopgave

1. De vakbijlagen van het NFI
2. Inleiding
3. Het onderzoek: metadata
4. Het onderzoek: PRNU
5. Conclusies
6. Verklarende woordenlijst
7. Literatuur

1. De vakbijlagen van het NFI

Het Nederlands Forensisch Instituut (NFI) kent een groot aantal typen onderzoek. In principe gaat elk onderzoeksrapport van het NFI vergezeld van een vakbijlage als die beschikbaar is. Deze vakbijlage dient als toelichting op het onderzoek en heeft een zuiver informatief karakter. De informatie die van toepassing is op een specifieke zaak staat altijd alleen in het onderzoeksrapport vermeld. De vakbijlage

geeft weer volgens welke methoden en met welke technieken en hulpmiddelen een dergelijk onderzoek over het algemeen plaatsvindt. Aan het eind van de vakbijlage zijn een verklarende woordenlijst en een literatuurverwijzing opgenomen.

2. Inleiding

In forensisch onderzoek komt soms de vraag naar voren of bepaalde digitale beelden, zowel foto's als video's, zijn gemaakt met een bepaalde digitale camera. Ook de vraag of twee series beelden afkomstig zijn uit eenzelfde camera kan relevant zijn.

Om die vragen te kunnen beantwoorden doet het NFI-onderzoek aan digitale beelden.

Een digitaal beeld is opgebouwd uit een matrix van beeldelementen: pixels. Voor het maken van een digitaal beeld wordt gebruik gemaakt van een chip in een camera, de beeldsensor. Dat kan een Charge Coupled Device (CCD) zijn of een Complementary Metal Oxide Semiconductor (CMOS). De meeste mobiele telefoons bevatten CMOS-beeldsensoren, aangezien die minder energie gebruiken. De huidige telefoons bevatten vaak twee of zelfs vijf beeldsensoren, dus die dienen bij het onderzoek te worden meegenomen.

Beeldsensoren zijn complexe elementen die optische informatie omzetten in elektrische signalen. De beeldsensor van een digitale camera bestaat uit een matrix met grote aantallen lichtgevoelige elementen. Bepaalde lichtgevoelige elementen reageren systematisch net iets anders op een bepaalde lichtintensiteit dan nabijgelegen elementen. Wanneer zij allemaal met dezelfde lichtintensiteit worden belicht, betekent dit dat deze beeldelementen een hogere of lagere waarde rapporteren dan die omliggende beeldelementen. Zo ontstaat een patroon waarin elk beeldelement een geringe afwijking heeft ten opzichte van het gemiddelde.

Een marginale afwijking heet een non-uniformiteit. De locaties van non-uniformiteiten vormen een patroon op de sensor. Het patroon van non-uniformiteiten heet ook wel het Photo Response Non-Uniformity (PRNU) patroon. De aanwezigheid van zo'n PRNU-patroon is te danken aan kleine variaties in materiaaleigenschappen, variaties in eigenschappen van de elektronische componenten, vervuiling tijdens de fabricage en onregelmatigheden in de grootte van het oppervlak van de lichtgevoelige elementen. Deze oorzaken suggereren dat deze afwijkingen voor iedere camera anders zijn. Ze zijn, voor zover bekend, ook stabiel in de tijd. Bovendien zijn ze tot op zekere hoogte aanwezig in elk beeld dat de sensor produceert. Deze eigenschappen maken PRNU-patronen tot bruikbare verschijnselen om de herkomst van digitale beelden te karakteriseren.

3. Het onderzoek: metadata

Digitale camera's hebben vaak de mogelijkheid om tijdens het maken van opnames metadata toe te voegen aan foto's of video's. De term 'metadata' duidt op toegevoegde informatie die al dan niet nodig is voor een correcte weergave van de beeldinhoud. Ook kan het voorkomen dat de metadata slechts informatie over een bepaald merk of type camera bevat. Dan is het niet mogelijk om de specifieke, individuele camera te identificeren. Tenslotte bestaat de mogelijkheid dat de metadata al dan niet bewust is gemanipuleerd. Daarom doet het NFI ook onderzoek naar non-uniformiteiten.

4. Het onderzoek: PRNU

Een digitale camera bevat veel elektronische componenten. Nadat het beeld is vastgelegd op de beeldsensor, gaat de beeldinformatie langs al deze componenten voordat deze in het uiteindelijke bestand geschreven wordt. Elke stap kan willekeurige ruis toevoegen. Daarnaast bestaat er een

betrekkelijk geringe, systematische afwijking van het signaal in de sensor welke het PRNU-patroon tot gevolg heeft. Het gaat hierbij om een kenmerkende afwijking die vaak terug te vinden is op afbeeldingen of video's uit de camera waarin zich de beeldsensor bevindt. Praktisch betekent dit dat goed belichte beelden leiden tot een meer betrouwbare extractie van het PRNU-patroon dan slecht belichte beelden. De extractie van het patroon geschiedt door de ruis zo goed mogelijk van de beeldinhoud te scheiden met behulp van complexe filters.

Omdat de afwijking in het beeld als gevolg van PRNU zo gering is, gaat het bij het vaststellen van zo'n patroon altijd om een schatting. Factoren als beeldcompressie beïnvloeden die schatting.

Bij zwaardere compressie gaat meer beeldinhoud verloren. In dat geval is dan ook slechts een ruwere schatting van het PRNU-patroon mogelijk.

Wanneer het in het vervolg van deze vakbijlage gaat over zo'n patroon, wordt daarmee de schatting van het PRNU-patroon uit de beeldbestanden bedoeld. Voor het maken van vergelijkingen om een broncamera te detecteren gebruikt het NFI het zelf ontwikkelde programma PRNUCompare (zie Literatuur).

Schatting

Daarbij kan het voorkomen dat klasse-specifieke camerakenmerken invloed uitoefenen op de schatting van het PRNU-patroon. Naast de kenmerken van het PRNU-patroon kunnen zich ook kenmerken voordoen binnen een bepaalde klasse van camera's, bijvoorbeeld van een bepaald merk en type.

Dat maakt analyse en vaststelling van de invloed van deze klasse-specifieke toevoegingen zeer belangrijk.

Deze validatie gebeurt door meerdere camera's van hetzelfde model te testen. Op deze manier is het mogelijk aannemelijk te maken dat de overeenkomsten tussen twee patronen niet louter op deze klasse-specifieke kenmerken berusten.

Onderzoeksopdracht: vergelijking

Om een bepaald beeld of een serie beelden te kunnen koppelen aan een specifieke digitale camera die beschikbaar is voor onderzoek, maakt de onderzoeker tijdens een onderzoeksopdracht eerst een aantal opnamen met deze camera. Onderwerp van deze opnamen is een egaal grijs oppervlak. De reden daarvoor is dat alle beeldelementen daarop nagenoeg gelijk belicht worden. Uit deze beelden wordt vervolgens het PRNU-patroon geëxtraheerd met behulp van een filter. Dit is het referentiepatroon ten opzichte van de betwiste beelden. De onderzoeker vergelijkt het gevonden patroon met het patroon wat geëxtraheerd is met dezelfde filters uit één of meerdere betwiste beelden. Het patroon wordt benaderd door een schatting te maken van de foto in het geval van een perfecte sensor (dat wil zeggen: zonder de aanwezigheid van het PRNU-patroon). Door het verschil te bekijken tussen het aanwezige beeld en de schatting van het perfecte beeld, verkrijgen we het PRNU-patroon. Het schatten van het perfecte beeld wordt gedaan met behulp van filters die zeer fijne details zoals ruis 'gladstrijken'. Op deze wijze is het extraheren van het PRNU-patroon uit egale oppervlakken makkelijker en betrouwbaarder dan bij gedetailleerde texturen. Omdat het aantal pixels in een foto vaak erg groot is, kunnen in veel gevallen ook gedetailleerde gebieden opgevat worden als kleine egale oppervlakken. In dit geval neemt de onzekerheid van de schatting wel toe, en de bewijswaarde neemt af. Door een groot aantal foto's met verschillende beeldinhoud te maken, brengt de onderzoeker deze onzekerheden in kaart. Dit komt tot uitdrukking in het oordeel van de onderzoeker over de bewijskracht. Wanneer er meerdere beelden aanwezig zijn, kan ervoor gekozen worden om de patronen te middelen, of om de individuele patronen te beschouwen. Wanneer het referentiepatroon en het patroon uit de onderzochte foto een gelijke herkomst hebben, zal de gelijkheid tussen deze patronen in de meeste gevallen groter zijn dan wanneer de patronen een verschillende herkomst hebben.

Dit kan voortkomen uit de genoemde klassespecifieke kenmerken. Door meerdere camera's van dezelfde klasse (dus hetzelfde merk en type) te gebruiken als referentie valt de invloed van deze factor te kwantificeren.

Video

Aangezien een video is opgebouwd uit een aaneenschakeling van losse beelden, is een vergelijking onder bepaalde omstandigheden ook te maken voor video-opnamen. Wel zijn video-opnamen over het algemeen zwaarder gecompriëmd. Daarom is het aantal beelden in

het video-bestand van belang. Ook het type compressie en de beeldinhoud hebben invloed op de mogelijkheid om een verband tussen camera en bepaalde opnamen te leggen. Het achterhalen van de broncamera is onder bepaalde omstandigheden ook mogelijk wanneer de video's bijvoorbeeld op YouTube zijn gezet of via Whatsapp zijn verzonden (zie Literatuur).

Maar door de grote verscheidenheid aan parameters, zoals de mate van compressie, de lengte van de opname en de beeldinhoud, levert dit in sommige gevallen slechts een beperkte bewijskracht op.

Net als bij het PRNU-onderzoek bij normale foto's, is het belangrijk de resultaten te valideren met een aantal referentiecamera's.

Onderzoek zonder camera

Niet altijd is de camera beschikbaar voor het onderzoek. Als de camera ontbreekt, behoort onderlinge vergelijking van reeksen beelden tot de mogelijkheden om aannemelijk te maken of foto's of video's met eenzelfde camera verkregen zijn.

Wanneer voldoende beelden voorhanden zijn, is het mogelijk om een referentiepatroon te vinden door meerdere PRNU-patronen uit een reeks beelden te middelen. Op deze manier verdwijnt de invloed van de veranderingen van beeld tot beeld en is het mogelijk het referentiebeeld te bepalen. Wanneer het patroon uit de betwiste beelden sterk lijkt op het patroon uit de referentiebeelden van de camera, is dit een aanwijzing dat beide sets afkomstig zijn van dezelfde camera.

Het bewust aanpassen van het PRNU-patroon in het beeldbestand is minder eenvoudig dan het aanpassen van de metadata van een beeldbestand. Toch is het ook bij dit type onderzoek niet uit te sluiten dat het patroon al dan niet opzettelijk gewijzigd is.

Met beeldbewerkingsoftware is het mogelijk om kunstmatig PRNU-patronen aan te brengen of te verwijderen. Dit kan ook gebeuren door het verzenden via sociale media met zware compressie of indien het beeld wordt voorzien van een watermerk. Het is dan ook van belang om een zo origineel mogelijk beeldbestand te onderzoeken.

In de forensische praktijk kan het ook voorkomen dat de telefoon of camera niet meer functioneert of toegankelijk is. In dat geval kunnen vaak toch nog de benodigde opnamen met de beeldsensor gemaakt worden, door de beeldsensor te transplanteren naar een andere telefoon of camera van hetzelfde merk en type (zie literatuur).

5. Conclusies

Het NFI rapporteert conclusies uit de resultaten van het onderzoek naar het PRNU-patroon uit een beeld op een vaste manier. Dit is: de waarschijnlijkheid van de bevindingen onder de hypothese dat een beeld gemaakt is met een bepaalde camera, ten opzichte van de hypothese dat een beeld met een willekeurig andere camera is gemaakt (al dan niet beperkt tot een bepaalde populatie, zoals camera's van hetzelfde model als de onderzochte camera). Een algemene toelichting over de conclusies staat in de vakbijlage 'Reeks waarschijnlijkheidstermen'. Doordat er ontzettend veel verschillende camera's in omloop zijn, is het vrijwel onmogelijk om een representatieve steekproef van deze populatie te verkrijgen. Hierdoor is er onvoldoende statistische informatie beschikbaar om precies vast te stellen hoe specifiek een PRNU-patroon daadwerkelijk is. De stochastische processen die het ontstaan van het ruispatroon veroorzaken spelen hierin een belangrijke rol. In de praktijk kunnen hoge likelihood ratios behaald worden (zie literatuur). Het NFI valideert de in het onderzoek gebruikte methode aan de hand van opnamen met referentiecamera's van hetzelfde model als de onderzochte camera. Hiermee wordt bepaald in hoeverre met de gebruikte methode camera's van dit specifieke model van elkaar onderscheiden kunnen worden (zie literatuur).

6. Verklarende woordenlijst

CCD

Charge Coupled Device. Een matrix van lichtgevoelige elementen die per rij worden uitgelezen.

CMOS

Complementary Metal Oxide Semiconductor. In een CMOS-beeldsensor wordt bij elke pixel apart de lading omgezet in een spanning.

Pixel

Het woord pixel is een samentrekking van de twee eerste lettergrepen van het Engelse picture element. Wanneer het een digitale camera betreft, gaat het om een individueel lichtgevoelig element op de beeldsensor.

PRNU

Photo Response Non-Uniformity. Deze term geeft aan dat de gevoeligheid van de beeldelementen in de sensor niet overal gelijk is: zij is niet uniform. Dit betekent dat verschillende pixels ietwat verschillend reageren op een bepaalde

lichtintensiteit. Op deze manier wordt een patroon gevormd dat bruikbaar is bij het vinden van de herkomst van een digitaal beeld (Afbeelding 1).

7. Literatuur

A.E. Gamal, B. Fowler, H. Min, and X. Liu, "Modeling and Estimation of FPN Components in CMOS Image Sensors," Proc. SPIE Solid State Sensor Arrays: Development and Applications II, vol. 3301, 1992, pp. 168-177.

K. Kurosawa, K. Kuroki, and N. Saitoh, "CCD Fingerprint Method - Identification of Video Camera from Videotapes Images," Proc. IEEE International Conference on Image Processing, vol. III, 1999, pp. 537-540.

Z. Geradts, J. Bijhold, M. Kieft, K. Kurosawa, K. Kuroki, and N. Saitoh, "Methods for Identification of Images Acquired With Digital Cameras," Proc. SPIE Enabling Technologies for Law Enforcement and Security, vol. 4232, 2001, pp. 505-512.

K. Kurosawa, K. Kuroki, and N. Saitoh, "An Approach to Individual Video Camera Identification," Journal of Forensic Sciences, vol. 47, no. 1, 2002, pp. 97-102.

N. Saitoh, K. Kurosawa, K. Kuroki, N. Akiba, Z. Geradts, and J. Bijhold, "CCD Fingerprint Method for Digital Still Cameras," Proc. SPIE Investigative Image Processing II, vol. 4709, 2002, pp. 37-48.

Z.J. Geradts, J. Bijhold, M. Kieft, K. Kurosawa, K. Kuroki, and N. Saitoh, "Digital Camera Identification," Journal of Forensic Identification, vol. 52, no. 2, 2002, pp. 621-632.

J. Lukáš, J. Fridrich, and M. Goljan, "Digital Camera Identification from Sensor Pattern Noise," IEEE Transactions on Information Forensics and Security, vol. 1, no. 2, 2006, pp. 205-214.

M. Chen, J. Fridrich, M. Goljan, and J. Lukáš, "Source Digital Camcorder Identification Using Sensor Photo-Response Non-Uniformity," Proc. SPIE Electronic Imaging, Photonics West, 2007, pp. 1G-1H.

M. Chen, J. Fridrich, M. Goljan, and J. Lukáš, "Determining Image Origin and Integrity Using Sensor Noise," IEEE Transactions on Information Forensics and Security, vol. 3, no. 1, 2008, pp. 74-90.

E.J. Alles, Z.J.M.H. Geradts, and C.J. Veenman, "Source Camera Identification for Heavily JPEG Compressed Low-Resolution Still Images," *Journal of Forensic Sciences*, vol. 54, no. 3, 2009, pp. 628-638. <https://doi.org/10.1111/j.1556-4029.2009.01029.x>

W. van Houten and Z. Geradts, "Source Video Camera Identification for Multiply Compressed Videos Originating from YouTube," *Digital Investigation*, 2009. <https://doi.org/10.1016/j.diin.2009.05.003>

W. van Houten, Z.J.M.H. Geradts, K. Franke, and C. Veenman, "Verification of Video Source Camera Competition (CAMCOM 2010)," *Lecture Notes in Computer Science*, vol. 6388, 2010, pp. 22-28. https://doi.org/10.1007/978-3-642-17711-8_3

W. van Houten, I. Alberink, and Z. Geradts, "Using Anisotropic Diffusion for Efficient Extraction of Sensor Noise in Camera Identification," *Journal of Forensic Sciences*, vol. 57, no. 2, 2012, pp. 521-527. <https://doi.org/10.1111/j.1556-4029.2012.02057.x>

F. Gisolf, Z. Geradts, D. Verhoeven, and C. Klaver, "The Effects of Switching the Camera Module from BlackBerry Curve 9360 Devices," *Digital Investigation*, vol. 10, no. 1, 2013, pp. 56-61. <https://doi.org/10.1016/j.diin.2013.01.007>

F. Gisolf, A. Malgouezar, T. Baar, and Z. Geradts, "Improving Source Camera Identification Using a Simplified Total Variation Based Noise Removal Algorithm," *Digital Investigation*, vol. 10, no. 3, 2013, pp. 207-214. <https://doi.org/10.1016/j.diin.2013.08.002>

F. Gisolf, P. Barens, E. Snel, A. Malgouezar, M. Vos, A. Mieremet, and Z. Geradts, "Common Source Identification of Images in Large Databases," *Forensic Science International*, vol. 244, 2014, pp. 222-230. <https://doi.org/10.1016/j.forsciint.2014.08.034>

M. Koopman, A.M. Rodriguez, and Z. Geradts, "Detection of Deepfake Video Manipulation," *Proc. 20th Irish Machine Vision and Image Processing Conference (IMVIP)*, 2018, pp. 133-136.

E. Athanasiadou, Z. Geradts, and E. Van Eijk, "Camera Recognition with Deep Learning," *Forensic Science Research*, vol. 3, no. 3, 2018, pp. 210-218. <https://doi.org/10.1080/20961790.2018.1485198>

C. Meij and Z. Geradts, "Source Camera Identification Using Photo Response Non-Uniformity on WhatsApp," *Digital Investigation*, vol. 24, 2018, pp. 142-154. <https://doi.org/10.1016/j.diin.2018.02.005>

B. van Werkhoven, P. Hijma, C.J.H. Jacobs, J. Maassen, Z.J.M.H. Geradts, and H.E. Bal, "A Jungle Computing Approach to Common Image Source Identification in Large Collections of Images," *Digital Investigation*, vol. 27, 2018, pp. 3-16. <https://doi.org/10.1016/j.diin.2018.09.002>

A. Mieremet, "Camera-identification and Common-source Identification: The Correlation Values of Mismatches," *Forensic Science International*, vol. 301, 2019, pp. 46-54.

L. de Roos and Z. Geradts, "Factors that Influence PRNU-Based Camera-Identification via Videos," *Journal of Imaging*, vol. 7, no. 1, 2021, p. 8. <https://doi.org/10.3390/jimaging7010008>

M. Iuliani, M. Fontani, and A. Piva, "A Leak in PRNU Based Source Identification—Questioning Fingerprint Uniqueness," *IEEE Access*, vol. 9, 2021, pp. 52455-52463. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2021.3070478>



Voor algemene vragen kunt u contact opnemen met de Frontdesk, telefoon (070) 888 68 88. Voor inhoudelijke vragen kunt u contact opnemen met het onderzoeksgebied Beeldonderzoek en Biometrie van de afdeling Digitale en Biometrische Sporen.
Telefoon (070) 888 6400.

Nederlands Forensisch Instituut
Ministerie van Justitie en Veiligheid
Postbus 24044 | 2490 AA Den Haag

Telefoon (070) 888 66 66
www.forensischinstituut.nl

mei 2025