



Digitization of Old Video and Audio Archives using Methods of Remote Reading of Magnetic Tapes

Radoslav MARKOV

Institute of Mathematics and Informatics at the Bulgarian Academy of Sciences,
Block 8, Acad. G. Bonchev Str., 1113-Sofia, Bulgaria
e-mail: rado.markov@math.bas.bg

Abstract

There have been a lot of video archives since 1956 when Videorecorder was invented. Due to their value they must be safeguarded and preserved by digitization. Yet two main problems appear. First is obsolescence of the reading equipment that in a given moment is just unavailable. Second problem is deterioration of the video type, both sticky shed syndrome and/or inducing tracking errors due to different causes. All those problems made impossible normal contact reading by the videorecorder's heads. We proposed a theoretical approach for contactless reading from a distance. One is by quantum magnetometer that seizes the weak magnetic field of the recorded tracks on the tape. Another is by scanning the video tape with an electron beam using Lorentz forces, similar to Lorentz scanning transmission electron microscopy, but much simplified (and cheaper). Next is software decoding of the signal in order to have a standard video image at the end. Has been reviewed troubles of implementing those methods, as well constraints, benefits and disadvantages.

At the end, a road map is given for further implementation of these new methods in practice.

Keywords: video archives, reading video tape, quantum magnetometer, bad video tapes, scanning electron beam

Цифровизация на стари видео и аудио архиви чрез използване на методи за дистанционно четене на магнитни ленти

Радослав МАРКОВ

1. Увод

Процесът на цифровизация на аудиовизуални произведения, записани на магнитна лента, в света върви по възходяща линия. Първият комерсиален видеоманетофон е произведен от американската фирма Ампекс и е демонстриран на 14.04.1956 [1]. Оттогава са се натрупали голямо количество магнитни видеоносители. Няма дори предварителни данни колко минути видео има записани в света, но със сигурност за тези години са се натрупали милиони минути. Щом телевизия като Словения има 100 000 ленти [2], то може да се предполага, че ако отношението население брой ленти е що годе константно, то в света трябва да има над 300 000 000 часа видеоматериал. За да се запазят за поколенията в цифров вид те трябва да се цифровизират. Нормалният процес на цифровизация е свързан с използване на оригиналните възпроизвеждащи устройства за дадения стандарт. Но тук възникват два основни проблема, които ще разгледаме:

1. Остаряване/излизане от употреба (obsolescence) на оригиналното оборудване.

Тук влияят два фактора.

Първият фактор е броят и времетраенето на прозореца за производство на оборудването. Ако формата VHS е произвеждан в милиони бройки и в продължение на 40 г. (1976-2016) [3], то екзотични формати като VX на Мацушита са имали живот около

година и под 10 000 произведени бройки. Същото се отнася и за руските магнетофони Електроника-БМ. Това означава, че произведените в по-големи количества и по-широк времеви прозорец е по-лесно да се намерят, отколкото редки екзотики.

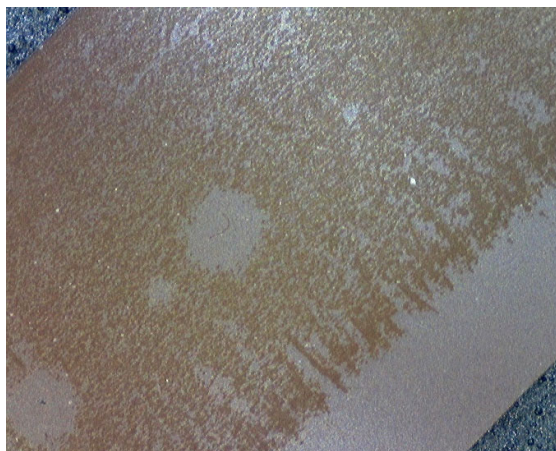
Вторият фактор е колко е старо дадено устройство и на каква елементна база е направено. Ако то е много старо, най-вероятно вече липсва, а дори и да се намери дадена бройка, то тя е неработеща и ако елементната база е много остаряла (лампи, транзистори, глави), то е трудно към невъзможно да се възстанови. Въпреки че съвременните технологии позволяват направата на единични детайли с произволно сложна форма и материали (адитивно производство – 3D принтиране, метално наслявяване и подобни), то поради липса на документация или използвани остарели концепции е невъзможно или изключително скъпо възстановяването на тези стари възпроизвеждащи устройства. Ако архивът е от много ленти със запазено качество, то би било финансово изгодно да се възстанови и по-рядък/екзотичен видеомагнетофон. Но ако архивът е малък, или с лошо качество на лентите, то тогава трябва да се търси друго решение. Като пример: В Министерството на младежта и спорта на Република България има останали определен брой видеокасети с олимпийска тематика (тренировки, интервюта, репортажи, постижения) по стандарт CVC (compact video cassette) и макар, че този формат принадлежи към екзотичните, имайки предвид ценността на архива и бройката на касетите (предполага се, че са над 100), то има смисъл от възстановяване на 1 бройка видеокасетофон по този стандарт с цел цифровизация на архива, въпреки високата цена на това действие.

Като цяло горните фактори са пречка пред дигитализацията на единични бройки редки формати ленти, дори и да са в добро състояние.

2. Дефекти по самата лента:

Тук също има два основни проблема.

Първият проблем се нарича Sticky shed syndrome, който в българската терминология неправилно се нарича разпрашване на лентата (фиг. 1).

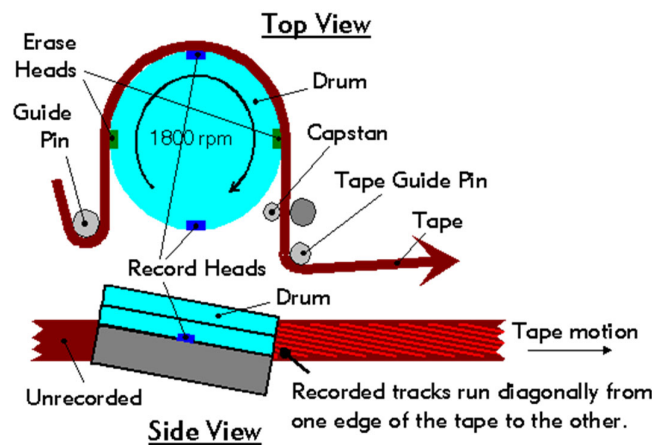


Фигура 1. Дефект от разпрашване (sticky shed)

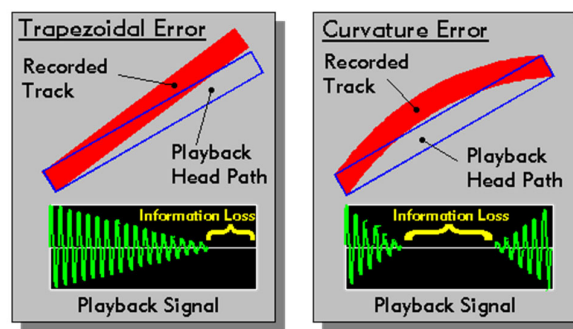
Всъщност, това е намаляване на сцеплението на скрепящия слой на лентата. В резултат намалява магнитния материал на записващата повърхност на лентата и съответно магнитното поле. Също така вредни последствия могат да бъдат запълване на процепа на възпроизвеждащата глава или даже нейното разрушаване. Тук няма да

дискутираме причините за появата на този синдром, както и вероятностните методи за неговото отстраняване, тъй като има достатъчно научна литература по въпроса [4][5][6]. Тук ще се спрем на случая, когато класическия метод „печене“ на лентата (baking) не помага или не е приложим.

Втори проблем е промяна поради някаква причина на точността на магнитните пътечки (tracking). Такива причини могат да бъдат свиване на лентата, огъване поради лошо съхранение или химични процеси (само ако е на ацетатна основа, иначе - много рядко). Видеозаписът е трансверзален (вертикален спрямо движението на лентата) или хеликален (обхваща главата под формата на буквата Ω) (фиг.2). При този проблем главата, която е с механично фиксирани размери не може да попадне на пътечките, въпреки действието на системата за наместване (tracking system). Последствията за сигнала са показани на фиг 3.



Фигура 2. Хеликален формат на видеозапис



Фигура 3. Грешки при възпроизвеждане на сигнал от изкривена лента.

Вляво: Трапецовидна грешка – ъглово отклонение спрямо пътечката.

Вдясно: грешка от кривина на пътечката – главата не следва линията на пътечката

Тези проблеми могат да се обединят и решат чрез начин за безконтактно дистанционно четене на лентата с последващо софтуерно декодиране на сигнала до цифрово видеоизображение.

2. Задача

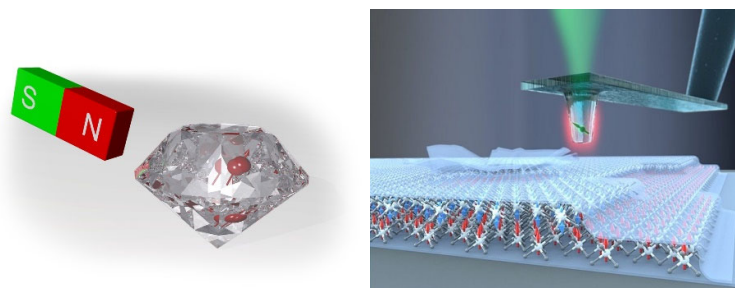
Имаме задача да прочетем магнитно поле с нисък интензитет, малък размер и с близко друго магнитно поле. Такава е структурата на едно поле на магнитния видеозапис върху лента. Например при VHS ширината на една пътечка (един полукадър на видеоизображението) е 58 μm , дължината на вълната или минималната резолюция на магнитно поле е 1.3 μm , при U-matic съответно е 85 μm (с 52 μm изолиращ прожеждутък между пътечките – guard band) [7].

Поради факта, че цифровите видеоленти са по-нови като концепция и изработка (най-старите са произведени през 1992 г.) ние няма да ги разглеждаме, а ще работим само с аналоговите такива.

3. Нови методи за дистанционно четене на магнитни ленти

3.1. Използване на квантов магнитометър

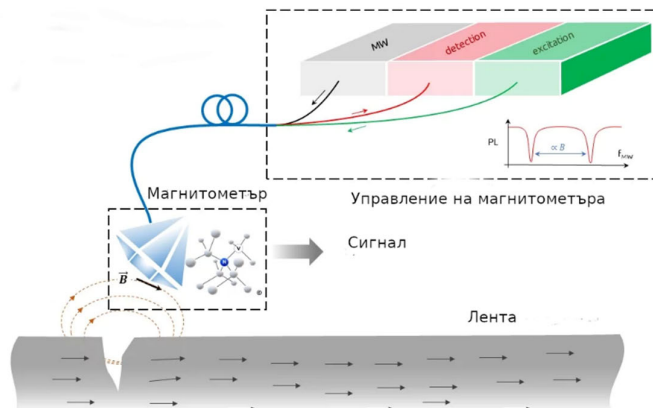
Квантовият магнитометър е устройство за измерване на слаби магнитни полета. Той е толкова чувствителен, че хваща магнитното поле на мозъка и сърцето. Има най-различни принципи на работа – He^3 , Протон, Overhauser и т.н. [8]. Тези методи, обаче, имат недостатъци като използване на големи и сложни апарати, много бавни като действие, недостатъчна резолюция, които ги правят непригодни за нашите цели. Затова ще съсредоточим вниманието си върху нов вид квантови магнитометри – така наречените азотни празни места в диамант (Nitrogen-vacancy in diamond). Накратко, представляват диамант с правилна въглеродна решетка като на определено място въглероден атом е заменен с азотен (фиг. 4).



Фигура 4. Вляво: илюстрация на принципа на NV-magnetometer
Вдясно: Илюстрация на принципа на четене на магнитна повърхност от магнитометър

Получава се дефект с неустойчива структура, който при определени условия (облъчване с лазер, помпане с радиочестота в Гигагерцовия диапазон) е чувствителен към промяна на магнитното поле, давайки пропорционален сигнал на напрегнатостта на магнитното поле, при това с много добра чувствителност (pT) и резолюция от nm до μm . Повече за принципите и преимуществата на NV магнитометър може да се види в [9]. Тези му специфики задоволяват нашите изисквания, изложени в началото на този параграф.

Този квантов магнитометър за дистанционно четене на магнитна лента може да се използва по следния начин: За получаване на първичен сигнал пропорционален на силата на магнитното поле прилагаме установката от фигура 5.



Фигура 5. Работна схема на възможен четец с квантов магнитометър

Състои се от четец – NV диамант, лазер с оптично влакно, подаващо светлината до активния елемент и генератор на честота около 2.4 GHz, определяща се от параметрите на активния елемент. Подвижен елемент, следващ пътя на магнитните пътечки на лентата е само NV диамантът. Оптичното влакно и вълноводът са гъвкави. По този начин се намалява теглото и инертността и се увеличава скоростта на сканиране на активния елемент. Задвижващият механизъм може да бъде пиезо- или магнестрикционен актюатор, който може да осигури движение на активния елемент в 2D плоскостта на магнитните пътечки. Активният елемент не докосва повърхността, а придвижването на лентата се осъществява от ролки, които опират в задната страна на лентата. По този начин чувствителният слой, заплашен от разпадане, не се докосва нито от лентодвижещи елементи, нито от активния елемент. При съвременните бързи контролери на актюатори и мотори с обратна връзка не е проблем да се синхронизира движението на лентата с движението на активния елемент и съответно със сигнала, подаван от активния елемент за обработка. За да се осигури сцепление без да има тон-ос опираща и в магнитния слой може да се ползват за транспортиращите ролки т.нар. гекон материал, който подобно на едноименния гущер се залепва здраво при 90° и се отлепва без последствия за повърхността при намаляване на ъгъла, т.е. при въртене.

За да се види какво и как трябва да сканира активният елемент трябва да се знае структурата на конкретния видеозапис (ъгъл на азимут, дължина на пътечката, плътност на пътечките), така че да знае управляващата система къде да поставя четящия елемент.

Има 3 начина това да се получи.

Първият и най-прост е да се използва т.нар. магнитна лупа. Това е прост уред, съдържащ течност с определен вискозитет, в която са диспергирани наночастици от ферромагнитен материал. При доближаване към магнитен източник вътре в течността се образува фигура на изследваното магнитно поле. Това е миниатюризирана версия на известния училищен опит с железни стружки, хартия и магнит. В този случай обаче, заради течността и наноразмерите на частиците, картината на магнитното поле е доста фина и опитът показва, че могат да се видят размерите и разположението на магнитните пътечки (фиг. 6).



Фигура 6. Визуализиране на магнитно поле с т.нар. магнитна лупа

Вторият начин е чрез правоъгълно сканиране с магнитометъра да се получи псевдокартина на пътечките и разстоянието между тях. Всъщност това е по-бавен, но автоматизиран вариант на първия метод. При това се усложнява и обработващия софтуер. Допълнителното удобство е, че може да се ползва за автоматична калибрация, тъй като освен за дешифриране геометрията на магнитните пътечки, може да се калибрира и за очаквания магнитен поток, като се извърши самокалибрация, така че нивото на сигнала на изхода на измерващата система да е 100% от пик до пик. Това става чрез предусилвател с голяма динамика, управляван с напрежение (voltage controlled pre-amplifier). Доколкото сигналът от видеолентата е с честотна модулация, веднъж калибриран по средното ниво на лентата се запазва сравнително постоянен (с изключение на резки промени, поради липсващи частици или участъци на лентата, но и при това положение може да се задейства управляемият усилвател и в някакви граници да изравни нивото). При добра динамика на аналогово-цифровия преобразувател (АЦП) с поне 16 бита на изхода може да се получи изравняване и по софтуерен път чрез скалиране.

Третият начин е при включена софтуерно-хардуерна серво обратна връзка, при която активният елемент извършва „хаотични“ движения, постепенно попадайки на правилната пътечка и самонагласяйки другите елементи (траектория и разстояние между пътечки). Това изисква по-сложен софтуер, но пък осигурява и по-добра стабилност на четенето чрез виртуален серво-контрол.

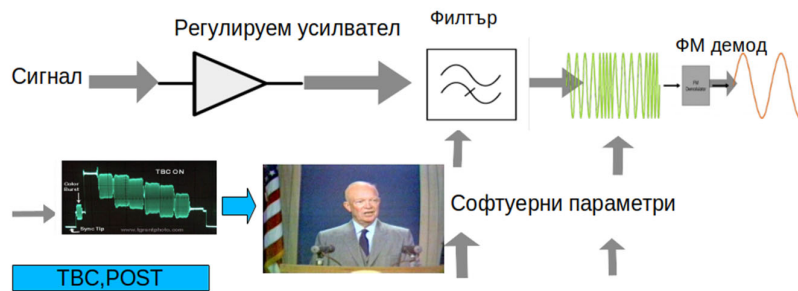
Само щателни опити могат да покажат кой е оптималният като време и сложност начин за първоначално установяване параметрите на четене – траектория, разстояние между пътечките, дължина на пътечката. Ако лентите са само със sticky shed синдром вероятно първият или вторият начин би бил по-добър. Обаче ако имат и други дефекти, тогава третият начин е по-стабилен във времето, макар и по-бавен.

След като вече имаме сигнал, минал през регулируем предусилвател и динамичен (поне 16 бит) АЦП, идва ред на цифровата обработка.

Предполага се, че:

- нивото на сигнала е номинално – за това се грижат управляемия предусилвател и АЦП;
- механичното движение на активния елемент е строго стабилно (колкото може да е стабилно едно механично движение, дори и със серво-контрол).

Възлите, необходими за декодиране, са софтуерни аналози на възлите в аналогов видеоманетофон. Има и известни разлики, от една страна поради характера на сигнала, идващ от активния елемент, от друга страна поради големите възможности на софтуерната обработка на сигнала, непостижими с аналогови средства (например FIR - finite impuls response филтри с идеално правоъгълна форма). Софтуерната схема на обработка е дадена в стандартни блокове на фиг. 7.



Фигура 7. Схема на преобразуване на сигнала в картина със стандартни блокове.

ФМ демод – честотна демодулация на яркостния сигнал,

TBC – Time base corection,

POST – финална обработка преобразуване от яркостна и цветова съставна в RGB изображение

В началото е нормализатор (scaler) който нормализира сигнала по ниво, при евентуалните му вариации (въпреки управляемия усилвател, който поддържа едно ниво за цялата лента) – пикове или пропадания, по-къси или по-дълги. Останалите звена са описани във фигурата. Трябва да се отбележат спецификите на софтуерната спрямо аналоговата обработка. НЕ винаги е възможно точно да се имитира в цифровия домейн даден аналогов елемент. Затова по-доброто решение е трансформациите, необходими на сигнала, за да се превърне в изображение да се правят изначално със средствата на цифровата обработка на сигналите (DSP).

3.2. Сканиране на видео лентата с електронен лъч, използвайки сили на Лоренц

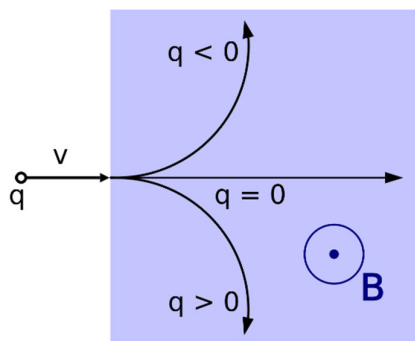
Друга възможност за прочитане е чрез сканиращ електронен лъч, използвайки Лоренцовото отклонение. Дефиницията за него е: отклонение на поток от електрони от магнитно поле поради сила на привличане/отблъскване, възникваща в резултат на взаимодействие на заредени частици и магнитно поле и се описва със следната формула:

$$F = \frac{q}{2} v \times B \quad (1)$$

която представлява частен случай на Лоренцовата формула за движение на заредени частици в електромагнитно поле:

$$F = q(E + v \times B) \quad (2)$$

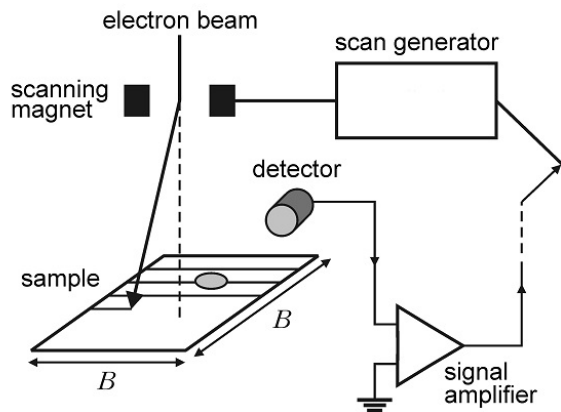
На фиг. 7 е дадена илюстрация на тази сила. Отклонението на потока от заредени частици (в нашия случай електрони) е пропорционално на силата на магнитното поле действащо на частиците.



Фигура 7. Отклонение на частица със заряд q и скорост v под въздействие на магнитно поле B . Доколкото заряда на електроните $e < 0$, то те се отблъскват от магнитното поле.

Нашата идея е да се използва това отклонение на лъч от електрони за четене на магнитните пътечки на лентата. Конструкцията би била следната (фиг. 8):

- катод;
- генератор на електронен лъч;
- фокусираща система по електростатичен метод;
- отклоняваща система за сканиране с електронния лъч с електростатично управление на лъча с цел да няма паразитни полета, които биха могли да влияят на слабия запис върху лентата;
- многоканален сензор за фино фиксиране отклонението на електронния лъч.
-



Фигура 8. Принципно схема за сканиране. Electron beam – електронен лъч, scanning magnet – отклонителна система, scan generator – генератор на отклонение на лъча, signal amplifier – усилвател на изходния сигнал, Sample - повърхност за сканиране (в нашия случай магнитна лента)

Като цяло това много наподобява съществуващите и в момента Лоренцови сканиращи прозрачни електронни микроскопи (Lorentz scanning transparent electronic microscope – LSTEM). Разликата е, че при нашия случай е необходимо само отчитането на отклонението, но с по-висока магнитна резолюция, а изискванията са по-слаби, защото размерът на четените магнитни пътечки е много по-голям и няма нужда от специалните методи за постигане на по-висока геометрична резолюция, които значително оскъпяват този микроскоп. Накратко казано имаме пред себе си опростена

версия на LSTEM, чийто изходен сигнал не се визуализира, а се предава към схема за декодиране на изображение.

Важните разлики са:

- по-малък ток на лъча, тъй като искаме само неговото отклонение, но не и взаимодействие с обекта (магнитната лента), въпреки че ще има известно преминаване на електрони през материала, но те ще бъдат малко и ще се явяват като шум на сигнала, който може да бъде отстранен с филтриране доколкото този шум е постоянен;
- сензор за отклонението, позволяващ по-висока магнитна резолюция (захващане на по-малки разлики в магнитното поле);
- електростатично фокусиране и отклонение на електронния лъч с цел да няма магнитни полета, взаимодействащи с обекта (магнитната лента).

Обработката на изходния сигнал от детектора се припокрива с обработката, която вече описахме. Възможно е да се добави допълнително входно филтриране, което да отстрани допълнителните шумове, непропорционални на интензитета на магнитното поле от пътечката и идващи от случайното поведение на електроните (по-скоро енергийното им разпределение) и от тези частици, които преминават през материала вместо да се отклоняват. Във времето тези шумове имат постоянен характер и равномерно разпределение (бял шум) и биха могли да се филтрират с познати методи, например wavelet transformation, без да се засяга полезният сигнал.

Важен компонент на такава система е калибрацията, която трябва да установи правилна пропорция между силата на магнитното поле на лентата и изходния сигнал. В началото при изграждането на системата трябва да се направи генерална калибрация. След това преди всяко четене на дадена лента трябва да се калибрира към нея, имайки предвид метода на запис (по-скоро годините, в които е правен), типа на лентата (ниска/висока коерцитивна сила), степента ѝ на разрушение (доколко е нарушен магнитния слой) и други подобни фактори, влияещи на силата на магнитното поле на лентата.

4. Заключение

И двата метода имат своите преимущества и недостатъци. Избирането на даден метод може да бъде след опити с различни ленти като стандарт на запис и степен и начин на увреждане.

Четенето с квантов магнитометър е сравнително по-лесно, но текущите магнитометри нямат скоростта на четене, каквато би имал един електронен лъч заради неговата практическа безинертност.

Четенето с електронен лъч изисква допълнителни по-тежки условия като поставяне на касетата във вакуум, което забавя и усложнява процеса.

И двата начина биха били сложни като реализация и сравнително скъпи, тъй като са базирани на последните достижения на науката, като NV-magnetometer, прецизни актюатори, едномодови лазери, сензори за електронен лъч и подобни. Поради тази причина те не могат да намерят масово приложение и да заместят стандартния процес за цифровизиране на видеоленти. Тяхното използване е бутиково, когато историко-културната ценност на даден запис е много висока, а носителят, на който е записан, се разрушава или е направен на оборудване, което вече не съществува. Също така може да се използва за криминалистично разчитане на видео ленти (forensic usage). Това би било част от голяма научна организация или много голям държавен архив, които биха могли да закупят и поддържат такава сложна апаратура и да предлагат такава услуга на по-малки и нискобюджетни структури.

Като цяло, тези методи дават възможност за справяне с проблем, нерешен досега. Те са част от последните тенденции в аудио-визуалното архивно дело да се вземат технологии от други области и да се използват за целите на аудио-визуалното възстановяване. Като пример може да се посочи използването на ядрено-магнитен резонанс за четене на залепнали филмови ролки (от институт ЕТН в Цюрих) или възпроизвеждане на стари грамофонни плочи чрез визуално сканиране и дешифриране на звуковите пътечки [10].

С по-горните предложения ние допринасяме за този процес и сме сигурни, че ще има по-нататъшно развитие, като например използване на машинно обучение за преобразуване на сигнала от детектора в изображение, прескачайки сложните модули за цифрова обработка. Доколкото има някаква зависимост на финалната картина от входния сигнал това е път, който трябва да се изследва.

Литература

1. <http://www.cedmagic.com/history/ampex-commercial-vtr-1956.html>
2. https://xendata.com/Assets_Case_Studies/RTV_Slovenia_Archive_Project.pdf
3. <https://arstechnica.com/gadgets/2016/07/vcr-vhs-production-ends/>
4. https://archive.org/details/ERIC_ED384356/mode/lup?view=theater
5. Hess, Richard. "Tape Degradation Factors and Challenges in Predicting Tape Life" (PDF). richardhess.com. ARSC Journal XXXIV / ii 2008 Conference paper
6. <https://amianet.org/resources/publications/>
7. Shiraishi, Y., & Hirota, A. (1978). Magnetic recording at video cassette recorder for home use. IEEE Transactions on Magnetics, 14(5), 318–320
8. https://www.gemsys.ca/pdf/MM3_GEM_Brief_Review_of_Quantum_Magnetometers.pdf
9. https://static.horiba.com/fileadmin/Horiba/Products/Scientific/AFM/Scanning_NV_Magnetometry/Qnami-WhitePaper1-NV-magnetometry-5.pdf
10. <https://www.loc.gov/static/programs/national-recording-preservation-board/resources/audio-preservation-bibliography.html#current-research>