



Digitale drahtlose Kamerasysteme

Diplomarbeit im Studiengang Audiovisuelle Medien

**vorgelegt von Johannes Irion
an der Fachhochschule Stuttgart – Hochschule der Medien
am 2. Oktober 2003**

- 1. Prüfer: Prof. Axel Hartz**
- 2. Prüfer: Prof. Jens-Helge Hergesell**

Inhalt

| | |
|---|-----------|
| 1 Kurzfassung | 9 |
| 2 Einleitung | 10 |
| 3 Methodik | 11 |
| 3.1 Methodik des praktischen Vergleiches der Funkkameranassysteme | 11 |
| 3.2 Methodik der Interviews | 12 |
| 4 Grundlagen | 13 |
| 4.1 Allgemeine Grundlagen | 13 |
| 4.1.1 Einsatzgebiete von Livekameranass | 13 |
| 4.1.2 Probleme beim Einsatz von Livekameranass | 13 |
| 4.1.3 Vorteile drahtloser Kameratechnik | 14 |
| 4.1.4 Grundlagen der Kameratechnik | 14 |
| 4.1.5 Anforderungen an drahtlose Kameratechnik | 15 |
| 4.1.6 Bisherige analoge L6sungen und deren Nachteile | 16 |
| 4.1.7 Neue digitale L6sungen | 16 |
| 4.2 Codierung | 17 |
| 4.2.1 MPEG | 17 |
| 4.2.2 Wavelet | 20 |
| 4.2.3 DVCPPro | 21 |
| 4.3 Modulation und Fehlerschutz | 22 |
| 4.3.1 Die grundlegenden Modulationsverfahren ASK, FSK und PSK | 23 |
| 4.3.2 QPSK: Quaternary Phase Shift Key | 23 |
| 4.3.3 QAM: Quadraturamplitudenmodulation | 25 |
| 4.3.4 OFDM: Orthogonal Frequency Division Multiplex | 26 |
| 4.3.5 Fehlerschutz | 29 |
| 4.3.6 Reed-Solomon-Code (RS-Code) | 30 |
| 4.3.7 Faltungscodes | 31 |
| 4.3.8 Punktierung | 33 |
| 4.3.9 COFDM | 34 |
| 4.3.10 Praktische Umsetzung bei DVB-T | 35 |
| 4.3.11 6bertragungsrahmen | 36 |
| 4.4 Funk | 37 |
| 4.4.1 Grundlagen | 37 |
| 4.4.2 Regulierungen | 38 |
| 4.4.3 6bertragungskanäle | 40 |
| 4.4.4 Diversity-Empfang | 41 |
| 4.4.5 Alternativen | 42 |
| 4.4.6 Gesundheitliche Auswirkungen | 43 |

| | |
|--|-----------|
| 4.5 Empfang | 44 |
| 4.5.1 Antenne | 44 |
| 4.5.2 Receiver | 44 |
| 4.6 Rückkanäle | 46 |
| 5 Umsetzung bei digitalen drahtlosen Kamerasystemen | 47 |
| 5.1 Prinzipielle Anordnung der Komponenten | 47 |
| 5.2 Steuerbare Elemente | 49 |
| 5.3 Signalstabilität gegen Bildqualität | 52 |
| 5.3.1 Qualitätsverlust durch Datenreduktion und Kanalstörungen | 52 |
| 5.3.2 Was ist „broadcasttaugliche“ Bildqualität? | 53 |
| 5.3.3 Kompromisslösung | 54 |
| 5.4 Delay | 55 |
| 5.5 Praktische Umsetzung | 57 |
| 5.5.1 Aufgerüstete EB-Kameras | 57 |
| 5.5.2 Vollständiger Funkkamerazug | 57 |
| 6 Praktischer Vergleich | 58 |
| 6.1 Ziel der Vergleichstests | 58 |
| 6.2 Testsituation | 59 |
| 6.3 LinkXP | 61 |
| 6.3.1 Aufbau und Hintergrund | 61 |
| 6.3.2 Sendeeinstellungen | 62 |
| 6.3.3 Testlauf | 62 |
| 6.3.4 Ausfallverhalten | 63 |
| 6.3.5 Kosten | 63 |
| 6.3.6 Fazit | 63 |
| 6.4 Tandberg | 65 |
| 6.4.1 Aufbau und Hintergrund | 65 |
| 6.4.2 Sendeeinstellungen | 66 |
| 6.4.3 Testlauf | 67 |
| 6.4.4 Ausfallverhalten | 67 |
| 6.4.5 Kosten | 68 |
| 6.4.6 Fazit | 68 |
| 6.5 BBC | 70 |
| 6.5.1 Aufbau und Hintergrund | 70 |
| 6.5.2 Sendeeinstellungen | 71 |
| 6.5.3 Testlauf | 71 |
| 6.5.4 Ausfallverhalten | 72 |
| 6.5.5 Kosten | 72 |
| 6.5.6 Fazit | 72 |

| | |
|---|-----------|
| 6.6 Übersicht der Vergleichsergebnisse | 75 |
| 6.7 Resümee | 76 |
| 7 Anwendung bei der DFA | 78 |
| 7.1 Ausgangssituation | 78 |
| 7.2 Realisierungsmöglichkeiten | 80 |
| 7.3 Finanzierung | 83 |
| 7.4 Schlussfolgerung | 84 |
| 8 Fazit und Ausblick | 85 |
| 9 Anhang | 87 |
| 9.1 Anhang I – Erläuterung Galois-Feld | 87 |
| 9.2 Anhang II – Formular zur Dokumentation der Kamerapräsentationen | 88 |
| 9.3 Anhang III – Interview mit Bernhard Jungwirth, Chefredakteur DFA | 89 |
| 9.4 Anhang IV – Interview mit Sven Pahlow, Technischer Leiter DFA Studio Berlin | 91 |
| 9.5 Anhang V – Interview mit Dipl.-Ing. Dietmar Fromm, Producer n-tv Außenübertragung | 92 |
| 9.6 Anhang VI – Interview mit Frank Trautmann, Abteilungsleiter Kamera, SZM Berlin | 94 |
| 10 Quellenverzeichnis | 95 |

Abbildungsverzeichnis

| | |
|---|----|
| Abb. 1: Blockschaltbild Kamerakopf. | 14 |
| Abb. 2: Zickzack-Scan bei MPEG. | 18 |
| Abb. 3: Blockbewegung zur Ermittlung des Bewegungsvektors \vec{v} . | 19 |
| Abb. 4: Zusammenspiel der vorwärtsgerichteten und der bidirektionalen Bildberechnung zur GOP-Bildung. | 19 |
| Abb. 5: Prinzip der Wavelet-Transformation. | 20 |
| Abb. 6: Beispiel für einen NRZ-Code und die entsprechend mit ASK, FSK oder PSK modulierte Trägerfrequenz. | 22 |
| Abb. 7: Aufteilung des NRZ-Signals in Real- und Imaginäranteil. | 23 |
| Abb. 8: Blockschaltbild eines QPSK-Modulators. | 24 |
| Abb. 9: Zustandsdiagramm QPSK. | 24 |
| Abb. 10: Zustandsdiagramm 16QAM und 64QAM. | 25 |
| Abb. 11: Signalweg und Reflektionen beim Empfang eines Funksignals. | 26 |
| Abb. 12: Funktionsweise des Schutzintervalles. | 27 |
| Abb. 13: Blockschaltbild OFDM. | 28 |
| Abb. 14: Spektralverteilung der OFDM-Subcarrier. | 28 |
| Abb. 15: Prinzip der Signalverarbeitung bei OFDM. | 29 |
| Abb. 16: Schema der Codewortbildung. | 30 |
| Abb. 17: Prinzip eines Faltungscoders. | 31 |
| Abb. 18: Zustandsdiagramm Faltungscoder. | 31 |
| Abb. 19: Trellisdiagramm. | 32 |
| Abb. 20: Zuordnung der Metrik bei Softdecision. | 33 |
| Abb. 21: Blockschaltbild eines COFDM-Encoders. | 34 |
| Abb. 22: Übersicht über die Frequenzspektren zwischen 1 kHz und 1.000 THz. | 37 |
| Abb. 23: Übersicht über Funklizenzen im Frequenzband von 400 MHz bis 2,7 GHz. | 39 |
| Abb. 24: Prinzip des Diversityempfanges. | 41 |
| Abb. 25: Auswertung der empfangenen Signale beim Diversityempfang. | 42 |
| Abb. 26: Blockschaltbild eines vollständigen Funkkameranagements. | 47 |
| Abb. 27: Lageplan der Umgebung des DFA-Studios. | 59 |
| Abb. 28: Signalfluss zwischen Konferenzraum und Regie der DFA. | 60 |
| | |
| Tab. 1: Profile und Level bei MPEG-2. | 17 |
| Tab. 2: Mindeststörabstände zum Erreichen von $BER = 2 \cdot 10^{-4}$ nach Viterbi. | 40 |
| Tab. 3: COFDM-Nutzdatenraten in MBit/s bei 8 MHz. | 50 |
| Tab. 4: Datenraten der bei Funkkameranagements gängigen Formate in MBit/s. | 50 |
| Tab. 5: Übersicht der Vergleichsergebnisse. | 75 |
| Tab. 6: Polynome zur Berechnung der Elemente des Galois-Feldes. | 87 |

1 Kurzfassung

Fernsehliveübertragungen werden in der Regel mit Kameras realisiert, die ihr Bildsignal und gegebenenfalls auch Ton über ein Triaxkabel zur Regie übertragen. Dadurch ist die Bewegungsfreiheit der Kamera und damit auch die gestalterische Freiheit stark eingeschränkt. Drahtlose Kamerasysteme ersetzen den Kabelweg durch eine Funkstrecke. Entscheidend für die Qualität des Systems ist dabei die Art der Funkübertragung. Analoge drahtlose Kamerasysteme modulieren das zu übertragende Signal im Frequenzmodulationsverfahren auf eine einzelne Trägerfrequenz und sind, um Störungen durch Echos zu vermeiden, auf eine gerichtete Funkverbindung angewiesen. Die Grundlage digitaler drahtloser Kamerasysteme ist in Anlehnung an den DVB-Standard zur terrestrischen TV-Übertragung das COFDM-Verfahren, bei dem das zu übertragende digitale Signal komprimiert zusammen mit verschiedenen Fehlerschutzverfahren auf mehreren tausend Trägern gleichzeitig übertragen wird. Die Modulation der einzelnen sogenannten Subcarrier geschieht dabei wahlweise mit Quadratur-Phasen-Modulation (QPSK) oder Quadratur-Amplituden-Modulation (QAM). Die Bewegungsfreiheit der Kamera ist dadurch größer als bei einem analogen System, da mit diesem Verfahren durch Echos hervorgerufene Empfangsstörungen kompensiert oder sogar zur Signalverbesserung verwendet werden können und somit keine gerichtete Funkverbindung nötig ist. Im Vergleich zum Triaxkabel steht bei der Funkübertragung nach dem DVB-T Standard mit 8 MHz eine vergleichsweise geringe Bandbreite zur Verfügung innerhalb derer mit COFDM Datenraten bis zu 30 MBit/s übertragen werden können. Da das Nutzsignal in digitaler Form vorliegt, kann es mit den üblichen Codierverfahren wie MPEG, DVCPPro oder Codes auf Wavelet-Basis komprimiert und reduziert werden.

Mehrere europäische Hersteller entwickeln derzeit digitale drahtlose Kamerasysteme. Ein praktischer Vergleich der aktuellen Systeme der Firmen Link Research, Tandberg und BBC zeigte, dass sich alle Modelle auf einem vergleichbaren Entwicklungsstand befinden, sich jedoch durch unterschiedliche Stärken und Schwächen für verschiedene Einsatzformen eignen. Zu den Merkmalen, die für einen Einsatz in der Praxis entscheidend sind, gehört unter anderem die Gesamtverzögerung des Systems, die durch die Codier- und Modulationsvorgänge verursacht wird und als Delay bezeichnet wird. Der Delay liegt je nach Modell zwischen einem und zwölf Frames, also bei 40 bis 360 ms. Je nach dem vom Hersteller entwickelten Codierverfahren und der Bauweise der Sende- und Empfangseinheiten unterscheiden sich die Systeme auch hinsichtlich der übertragbaren Datenrate, der Signalstabilität und der Reichweite der Funkstrecke.

2 Einleitung

Die Entwicklung und der Einsatz von drahtlosen Kameras ist bereits seit einigen Jahren ein aktuelles Thema in der Fernsehbranche. Analoge Systeme werden schon vergleichsweise häufig eingesetzt. Seit ungefähr einem Jahr erscheinen nun auch digitale Systeme auf dem Markt, die eine deutliche Verbesserung der Funkkamertechnik darstellen.

Die Grundidee hinter dem Einsatz von drahtlosen Kameras ist die Befreiung der Kamera vom Kabel. Die Übertragungsstrecke zwischen Kamera und CCU wird in der Regel mit einem Triaxkabel realisiert, was einige Probleme mit sich bringt, die in Kapitel 4.1.2 erläutert werden. Ziel ist es, die Bild- und Audiodaten ohne Kabel von der Kamera zur CCU zu übermitteln. Eine Funkstrecke soll den Kabelweg ersetzen und somit die Kamera von den Einschränkungen des Kabels befreien. Neben vielen praktischen Vorteilen entstehen dadurch auch neue bildgestalterische Möglichkeiten, da die Kamera jetzt Plätze erreichen kann, die mit Kabel nicht denkbar wären. So können mit Funkkameras Livebilder von fahrenden Schiffen, aus einem Flugzeug oder aus der Boxengasse bei Formel1-Rennen ebenso gesendet werden wie längere Gänge durch Türen oder Tunnels, die mit kabelgebundenen Kameras nur unter erheblichem Aufwand oder gar nicht möglich wären.

Mit der Verwendung einer Funkstrecke entstehen aber auch einige neue Probleme, die bei der Produktion berücksichtigt werden müssen. So ist naturgemäß die Störanfälligkeit eines Funkkanals wesentlich höher als die eines Kabels und auch bei der Bandbreite müssen Abstriche gemacht werden.

Ziel dieser Arbeit ist es, zunächst die technischen Grundlagen und die Funktionsweise der digitalen drahtlosen Kamertechnik umfassend darzulegen. Ergänzend dazu werden die Systeme der wichtigsten Hersteller in der Praxis getestet und im Hinblick auf Umsetzung der theoretischen Möglichkeiten, technische Leistungsfähigkeit und praktische Handhabung verglichen.

Schließlich wird untersucht,

- in welchen Bereichen die Deutsche Fernsehnachrichten Agentur (DFA) ein digitales drahtloses Kamerasystem einsetzen könnte,
- wie in dieser Hinsicht die Bedürfnisse der wichtigsten Kunden der DFA ausgeprägt sind,
- welches Modell dafür in Frage käme,
- welcher Nutzen, aber auch welche Kosten der Firma dadurch entstehen würden
- und ob sich die dauerhafte Anschaffung eines solchen Systems für die DFA lohnt.