

An den Grenzen physikalischer Möglichkeiten: Drahtlos-System „Digital 9000“ von Sennheiser

Am 3. September 2012 präsentierte die Firma Sennheiser der Fachwelt in Hannover ihr neues digitales Drahtlos-System, dessen Entwicklung nahezu ein Jahrzehnt in Anspruch genommen hat und das derzeit am Weltmarkt konkurrenzlos ist. Dieses digitale Funksystem kann Audiosignale vollkommen unkomprimiert übertragen, und zwar artefaktfrei und mit hervorragender Dynamik. Entwickelt wurde das System für die Bereiche Broadcast, Theater und Musical sowie für hochkarätige Live-Konzerte und es setzt tatsächlich einen neuen Standard in der digitalen Drahtlosübertragung.

Dipl.-Ing. Günther Konecny (Text), Fa. Sennheiser (Fotos)

Digital 9000 umfasst den Mehrkanalempfänger EM 9046, den Handsender SKM 9000 und den Taschensender SK 9000 sowie eine große Zubehörpalette.

Bei der Entwicklung wurde großer Wert auf die Frequenzeffizienz des Systems gelegt, damit anspruchsvolle Anwender in der immer komplexeren Hochfrequenz-Landschaft höchste Kanalzahlen realisieren können.

„Dieses System ist ein Meisterwerk, sowohl was die Digitaltechnik als auch die Drahtlosübertragung angeht“, sagt Kevin Jungk, Portfolio-Manager für drahtlose Mikrofone bei Sennheiser. „Es bie-

tet eine ganz neue Audioqualität; außerdem ist es extrem nutzerfreundlich. Zum Beispiel braucht man nicht mehr – wie sonst üblich – Intermodulationsfrequenzen auszurechnen und sein Drahtlossystem um diese Frequenzen herum zu planen. Mit Digital 9000 kann man die Funkfrequenzen einfach in gleichen Abständen anordnen.“

Ein hochinteressantes Gespräch mit **Gerrit Buhe**, dem verantwortlichen Projektleiter, zeigt auf, warum die Entwicklung dieses in jeder Hinsicht richtungsweisenden Systems so viel Zeit in Anspruch genommen hat:

Herr Buhe, in Digital 9000 stecken und zehn Jahre Entwicklungsarbeit. Was war rückblickend die größte Herausforderung?

Die größte Herausforderung war zugleich eine beständige: Um ein Funkmikrofonsystem mit digitaler Übertragung und wirklich herausragenden Audioeigenschaften zu entwickeln, mussten wir uns dicht an den Grenzen des physikalisch Möglichen bewegen. Und an diesen physikalischen Grenzen explodiert der technische Aufwand förmlich. An vielen Stellen sind wir sehr tief ins Detail gegangen und haben viele kleine Lösungen erarbeitet, die es uns ermöglicht haben, den Audiodaten immer wieder noch mehr Datenrate zu „spendieren“ als das üblicherweise der Fall ist.

Unsere analoge Drahtlostechnik wird für Veranstaltungen und Projekte mit teils sehr hohen Kanalzahlen genutzt – und dem sollte auch unser digitales Drahtlossystem in nichts nachstehen. Deshalb müssen wir uns im UHF-Bereich bewegen, denn nur hier sind heute große Multikanal-Installationen möglich. Um in diesem Bereich überhaupt zugelassen zu werden, darf die Funkstrecke eine bestimmte Kanalbandbreite nicht überschreiten. Das begrenzt die übertragbare Datenrate. Zudem braucht man für eine hohe Datenrate einen guten Signal-Rauschabstand in der Funkübertragung. Dieser Zusammenhang gehorcht der Physik und ist nicht auszuhebeln. Unser Fokus lag also darauf,

im UHF-Bereich die höchstmögliche zuverlässig übertragbare Datenrate und damit die optimale Audioqualität mit hoher Dynamik zu realisieren. Das haben wir zum einen durch Anpassung modernster frequenzeffizienter Modulationsverfahren an unsere konkreten Anforderungen erreicht; zum anderen haben wir viele ausgefeilte Extras entwickelt, mit denen wir den Anteil der Nicht-Audiodaten gering halten konnten.

Haben Sie und Ihr Team damit das perfekte digitale Drahtlosmikrofon entwickelt?

Das perfekte digitale Drahtlosmikrofon gibt es nicht, aber wir sind nahe dran. Nein, ernsthaft, es gibt nicht das perfekte Mikrofon für alle Anwendungsfälle, denn wegen der physikalischen Einschränkungen, die ich eingangs erwähnte, muss ein digitales Drahtlosmikrofon immer sinnvolle Kompromisse eingehen, zum Beispiel bei der Betriebszeit, der Größe oder der Reichweite. Unser System bietet dem Kunden allerdings zwei Modi und deckt damit eine große Bandbreite an Anwendungen und Szenarien ab. Ich denke, dass noch nie eine so hohe Audioqualität im UHF-Bereich übertragen wurde wie mit Digital 9000.

Welche beiden Modi bietet das System?

Den **High-Definition-Modus** und den **Long-Range-Modus**. Der High-Definition-Modus bietet eine kompromisslose Tonqualität, da



Mit Digital 9000 setzt Sennheiser einen neuen Standard in der digitalen Drahtlosübertragung

das Audiosignal nicht, wie sonst üblich, komprimiert wird. Man erhält eine Tonqualität, die dem eines drahtgebundenen Mikrofons entspricht, und das eröffnet Digital 9000 neue Anwendungsbereiche. Bislang waren zum Beispiel für anspruchsvolle Jazzkonzerte nur kabelgebundene Mikrofone im Einsatz, da für diese Art von Musik die zur Rauschunterdrückung verwendeten Kompander eines analogen Funksystems ungünstig waren. Mit Digital 9000 fällt nicht nur der Kompander weg, sondern das Audiosignal wird zudem noch ohne Datenkompression, also in seiner ganzen „Datenfülle“, übertragen. An einen unkomprimierten Modus hat sich außer uns bislang noch kein anderer Hersteller herangetraut.

Der Long-Range-Modus ist unser „Arbeitspferd“ für alle kritischen Situationen. Er bietet eine hohe Robustheit für harte HF-Szenarien mit vielen Störeinflüssen. Der Modus nutzt unseren eigenen Sennheiser **Digital Audio Codec (SeDAC)**, auf den wir stolz sind, denn auch hier ist die Audioqualität herausragend.

Was ist das Besondere an diesem Codec?

Mit diesem Codec ist der Long-Range-Modus so robust wie eine herkömmliche analoge FM-Übertragung, liefert aber eine bessere Audioqualität. Wie viele Komponenten des Systems Digital 9000 hat auch dieser Audio-Codec seine eigene Geschichte, die ganz „normal“ beginnt, nämlich damit, dass wir uns alle auf dem Markt befindlichen Codecs angeschaut haben. Wir mussten allerdings feststellen, dass sie unsere Anforderungen im Hinblick auf Latenz (Verzögerung durch erforderliche Rechenzeit), Dynamik, Freiheit von Artefakten usw. nicht erfüllten. Daraufhin folgte eine lange Phase der intensiven Zusammenarbeit mit Universitäten und Koryphäen auf diesem Gebiet, wie zum Beispiel Prof. Zölzer von der Helmut-Schmidt-Universität Hamburg.

Der entscheidende Durchbruch gelang uns zu diesem Zeitpunkt leider noch nicht, doch es waren wichtige Teillösungen geschaffen worden, und wir hatten so viel Erfahrung in der Audio-



**Gerrit Buhe,
 Projekt-
 verantwortlicher**

datenkompression gewonnen, dass wir beschlossen, allein an einem Codec weiterzütüfeln. Und das Durchhaltevermögen hat sich gelohnt: Die Audioqualität des SeDAC ist sehr, sehr hoch, und er läuft auch unter Fehlereinflüssen stabil. Das ist für die digitale Übertragung unendlich wichtig, denn hier fehlt die „Gutmütigkeit“ eines analogen Systems. Um auch dem digitalen System eine gewisse Gutmütigkeit mitzugeben, wurde der Codec um eine spezielle Fehlerverschleierung ergänzt, eine Kombination aus einem eigenen und einem von Prof. Zölzer entwickelten Verfahren. Diese Fehlerverschleierung stellt sicher, dass die Audioübertragung auch noch in Grenzbereichen der Ausleuchtungsfläche möglichst robust arbeitet.

Wo ist ein analoges System gutmütig und wie funktioniert die Fehlerverschleierung?

Ein Beispiel für Gutmütigkeit ist das Verhalten bei einem Feldstärkeloch. So ein Einbruch des Empfangssignals durch fast immer vorhandene Mehrwegeausbreitung lässt bei einem analogen System den Signal-/Rauschabstand des Audiosignals proportional absinken, was jedoch aus psychoakustischen Gründen meist ohne große Folgen bleibt. Bei einem digitalen System ist großer Aufwand in intelligente Diversity- und Fehlerkorrekturverfahren bis hin zur Fehlerverschleierung zu stecken, um Aussetzer im Datenstrom oder sogar im Audiosignal zu vermeiden.

Für die Fehlerverschleierung haben wir sozusagen menschliches Verhalten in Algorithmen gefasst. Im System laufen unterschiedliche feste und auch ein adaptiver Prädiktor mit, die jeweils zu erraten trachten, wie das nächste Sample wohl aussehen wird. Für jede richtige Antwort erhalten die Prädiktoren Punkte, und sollten durch eine Störung des Signals Audiodaten fehlen, so darf der Prädiktor, der bislang am erfolgreichsten vorhersagen konnte, das Audiosignal reparieren. Diese Fehler liegen deutlich unter einer Millisekunde; bei längeren Fehlern im Audiosignal prüft ein weiteres Verfahren, ob sich eine Reparatur lohnt oder ob das System sanft muten soll. Das alles muss ohne zusätzliche Verzögerung erfolgen, was eine der besonderen Herausforderungen darstellte.

Beim System Digital 9000 ist keine Intermodulationsberechnung mehr erforderlich. Warum?

Digital 9000 ist nicht nur im digitalen Bereich ein Meilenstein, auch die komplette Hochfrequenztechnik wurde „neu erdacht“. **Das System ist so sorgfältig mit höchster Linearität in allen Stufen aufgebaut, dass zum Beispiel die üblichen starken Intermodulations zwischen zwei nahen Funkmikrofonen der Vergangenheit angehören.** Wegen der eingesetzten digitalen Modulation müssen insbesondere die Senderstufen linear arbeiten, da sonst die vielen verschiedenen Amplituden- und Phasenzustände, in denen die

lighting
 innovation

entwickelt & produziert
 maßgeschneiderte
 Beleuchtungsgeräte

MOTOR YOKE 3

**HMI 575 HYBRID
 SEACHANGER**



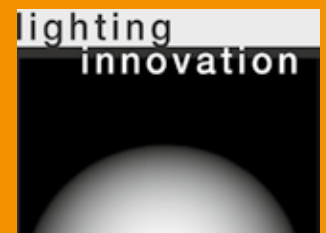
- CMY-farbmischung
- dimmung 0 bis 100 %
- pan-tilt-iris und fokus

**HIGHPOWER
 SOURCE FOUR**

750 W 115 V LAMPE



weltweit
 verwendbar



Hermann Sorger GmbH

Tel.: +43-(0)1-526 52 56

E-Mail: office@lightinginnovation.at

Web: www.lightinginnovation.com

Bits transportiert werden, nicht mehr unterschieden werden können. Diese Linearität reduziert zwar den Wirkungsgrad und damit die Betriebszeit des Senders, hat neben der geringen Modulationsverzerrung aber den zusätzlichen Vorteil der starken Intermodulationsunterdrückung. Zudem sind die Sender mit „Isolatoren“ bestückt, die das HF-Signal nur in „Senderrichtung“ durchlassen; eintretende HF-Signale werden über eine Senke „unschädlich“ gemacht.

Macht digital alles einfacher?

Ich würde eher sagen, dass „digital“ eines der modernen Zaubewörter ist, die Dinge einfach erscheinen lassen, die in Wirklichkeit aber auf hochkomplizierten inneren Abläufen basieren oder diese nötig machen. Eine Herausforderung ist zum Beispiel die Robustheit der Übertragung. Die meisten der üblichen Verfahren für eine robuste Datenübertragung können nicht für Mikrofone genutzt werden, denn sie würden die Latenz des Systems in die Höhe treiben. Der Künstler, der sich ja gleichzeitig immer auch über Monitor hört, würde zwar noch lange kein Echo wahrnehmen, aber schon ab zehn Millisekunden Verzögerung treten Klangverfärbungen durch Phasenauslöschungen bei bestimmten Audiofrequenzen auf (Kammfiltereffekt), die sehr störend sind.

Wenn die üblichen Verfahren nicht nutzbar sind, wie stellt das System dann die robuste Übertragung und den Fehlerschutz sicher?

Zu den von uns patentierten Lösungen zählt unter anderem eine so genannte relevanzangepasste Kanalcodierung. Da wir einen optimalen Fehlerschutz haben wollen, dafür aber nur eine möglichst geringe Datenrate aufwenden möchten – denn das ginge ja wieder vom „Platz“ für die Audiodaten ab – sind die übertragenen Bits nach Wichtigkeit bewertet und in Gruppen aufgeteilt. Da gibt es die so genannten least significant bits, bei denen ein eventueller Fehler kaum Auswirkungen hat. Dort reicht ein geringer Fehlerschutz vollkommen aus. Bei den höher bewerteten, wichtigeren Bits

nimmt der Fehlerschutz dann zu. Je mehr Störenergie ein potentieller Fehler erzeugen würde, desto höher wird die Sicherheit gefahren.

Verhält sich denn eine digitale Übertragungsstrecke anders als eine analoge?

Die Physik der HF-Ausbreitung ist natürlich identisch, aber während jahrzehntelange praktische Erfahrung mit analogen FM-Strecken vorliegt, hatte sich bis dahin niemand theoretisch mit der Modellierung der für uns relevanten Ausbreitungsbedingungen auseinandergesetzt. Für den Mobilfunk gibt es solche Informationen seit langem, ich kann mir zum Beispiel das Kanalmodell für eine Übertragung in hügeligem Gelände bei einer Bewegungsgeschwindigkeit von 50 km/h abrufen und viele Profile mehr. Für unsere Anwendungsfälle mussten wir diese Daten aber erst sammeln. Wir haben uns also die Hallen und Veranstaltungsorte dieser Welt angeschaut, gemessen, wie z.B. die Verzerrungen dort aussehen, überlegt, wie man die beheben würde und so weiter. Wir haben dann diese Ausbreitungs Kanäle modelliert, um die Algorithmen unserer Übertragungsverfahren zu optimieren. Algorithmen, die zum Beispiel für die Entzerrung zuständig sind oder das Diversity-Verfahren.

Stichwort Diversity: Der Empfänger läuft mit „True-Bit Diversity“. Was ist der Unterschied zu „True Diversity“?

Bei der Funkübertragung kann es im Zuge der Mehrwegeausbreitung – also bei Reflexionen an Wänden, Aufbauten oder Gegenständen – ortsabhängig zu besonders tiefen HF-Auslöschungen kommen. Daher setzen wir zwei Antennen und vollständige Empfangspfade ein und demodulieren jeweils bis auf die Bit-Ebene. Zusätzlich wird die Zuverlässigkeit jedes demodulierten Bits pro Pfad ermittelt. **Während ein herkömmliches True-Diversity-System nur nach der Stärke des empfangenen Signals entscheidet, wertet Digital 9000 die Qualität jedes einzelnen Bits aus und kombiniert die Bits beider Empfangspfade inklusive ihrer Wahrscheinlichkeitsinformation,**



Vorder- und Rückseite des Empfängers EM 9046



woraus die Fehlererkennung und -korrektur zusätzlichen Gewinn zieht. Es können also mehr Fehler korrigiert werden. Auch beim Diversity wird also ein erheblicher Mehraufwand betrieben, und all diese intelligenten Einzellösungen fügen sich zu einem perfekt durchdachten Ganzen zusammen – zu einem System, das die digitale Funktechnik voranbringt.

Die System-Komponenten

Nutzerfreundlichkeit des Systems

Das System „Digital 9000“ synchronisiert Empfänger und Sender über eine Infrarotschnittstelle und verfügt über eine praktische Antennen-Durchschleiffunktion für größere Empfangssysteme. Wichtigste Neuerung: Durch die hohe Linearität des gesamten Systems von Sendern über Antennen bis hin zum Empfänger hat die mühevollen Berechnung von Intermodulationsfrequenzen ein Ende. Die Sendefrequenzen können nun ganz einfach in gleichbleibenden Abständen angeordnet werden. Der Empfänger misst darüber hinaus auch automatisch den HF-Kabelverlust zwischen Empfänger und Booster und stellt den Gain entsprechend ein.

Empfänger 9046

Die Vorderseite des Empfängers EM 9046 wird von einem großen Display und übersichtlichen Bedienelementen dominiert. Drei

Display-Modi stellen sicher, dass der Tontechniker in der Live-Situation eine optimale Übersicht über alle wichtigen Parameter hat und bestehende Einstellungen schnell über ein intuitives, Icon-basiertes Menü ändern kann. Die Übertragungskanäle können separat oder beliebig kombiniert über den Kopfhörerausgang abgehört werden.

Der modulare EM 9046 ist ein Empfänger-Mainframe, das bis zu acht Empfangskanäle beherbergt. Der Empfänger deckt mit 328 MHz Schaltbandbreite den UHF-Bereich von 470 bis 798 MHz ab. Um das System problemlos in eine bestehende Infrastruktur einzufügen, kann der Nutzer zwischen Ausgangsmodulen mit Übertragungssymmetrierten analogen Ausgängen oder digitalen AES3-Ausgängen wählen – oder beide kombinieren.

Für den einfachen Aufbau der Anlage verfügt der EM 9046 über einen grafischen Spektrumanalysator, um die HF-Umgebung zu scannen, sowie einen HF-Feldstärkerekorder zur Überprüfung des Empfangssignals und Optimierung der Antennenpositionen. Der Empfänger schlägt außerdem den passenden Übertragungsmodus für die Arbeitsumgebung vor und setzt automatisch den korrekten Gain, um HF-Kabelverlusten entgegenzusteuern. Die Antennen-Booster des Systems können direkt vom Empfänger aus gesteuert werden, was besonders bei Installationen mit weit entfernten Antennen sehr hilfreich ist.

Der Handsender SKM 9000



Spinnenartige Gummihalierungen dämpfen die Handgeräusche

Der Multikanal-Empfänger und die Sender können auf Wunsch die Daten verschlüsselt übertragen – kodiert nach einem zufälligen, Sennheiser-eigenen Schlüssel. Dadurch wird die Funkstrecke kaper- und abhörsicher.

Der Empfänger speichert bis zu zehn vollständige System-Konfigurationen, sodass Set-ups einfach aufgerufen und wiederholt werden können.

Handsender SKM 9000

Das robuste SKM 9000 hat eine **Schaltbandbreite von 88 MHz**, hat keinen Kompander und ist in Schwarz und Nickel erhältlich, ergänzt um spezielle Versionen mit Command-Schalter für die Kommunikation zwischen Broadcast-Teams oder zwischen Künstlern und deren Crews.

Der Handsender SKM 9000 kann mit allen Mikrofonköpfen der Serien 2000 und evolution wireless G3 kombiniert werden, auch mit den Neumann-Kapseln KK 204 und KK 205. Damit kann der Lieblings-Sound eines Künstlers problemlos mit dem neuen System wiedergegeben werden.

Neben diesen Kapseln gibt es noch vier spezielle 9000er Mikrofonköpfe für den Handsender: Den dynamischen Mikrofonkopf MD 9235 (Niere) und die drei dauerpolarisierten Kondensatorkapseln der ME 9002 (Kugel), ME 9004 (Niere) und ME 9005 (Superniere). Die Kondensatorköpfe sind unempfindlich gegen Popplaute. Handhabungsgeräusche werden durch spezielle Gummihalierungen oberhalb und unterhalb der Kapsel gedämpft, die wie eine kleine Mikrofonspinne wirken.

Taschensender SK 9000

Der Taschensender SK 9000 ist leicht anzubringen und ebenso leicht in Kleidung oder Kostüm zu verstecken.



Sein Magnesiumgehäuse vereint höchste Robustheit mit geringem Gewicht. Der Sender kann mit allen Ansteck- oder Headset-Mikrofonen mit 3-Pin-Lemo-Stecker verwendet werden und hat einen Line-Eingang für Gitarren oder andere Instrumente. Der SK 9000

ist in **vier verschiedenen Frequenzbereichen erhältlich (88 MHz Schaltbandbreite)**; ein Command-Schalter für die Kommunikation zwischen Crews und Künstlern oder Berichterstatern gibt es als Zubehör.

Booster und Antennen

Um Digital 9000 gegen unerwünschte Frequenzen und Störquellen zu schützen, ist der Antennenverstärker AB 9000 mit acht hochselektiven Filtern ausgerüstet, die nur ein genau definiertes Frequenzband durchlassen. Unerwünschte Signale werden so noch vor der ersten aktiven Stufe ausgefiltert, was zu der hervorragenden Gesamtsicherheit des Systems beiträgt. Das Filter kann manuell am Antennen-Booster gesetzt werden oder – über das Antennenkabel – am Empfänger ferneingestellt werden. Der Antennen-Booster AB 9000 besitzt eine maximale Verstärkungsleistung von 17 dB und ist als Einzelkomponente oder als Teil der Rundstrahlantenne A 9000 und der Richtantenne AD 9000 erhältlich. Zwei Booster-Versionen (**470 bis 638 MHz und 630 bis 798 MHz**) decken den UHF-Bereich des Empfängers ab.

Stromversorgung

Die Sender der 9000er-Serie werden von Lithium-Ionen-Akkus gespeist. Die genaue verbleibende Betriebszeit wird dabei auf dem Handsender und dem Taschensender sowie auch auf dem Empfänger angezeigt. Der SKM 9000 wird vom Akkupack BA 60 für rund 5,5 Stunden mit Strom versorgt. Der SK 9000 nutzt den Akkupack BA 61 mit einer Betriebszeit von 6,5 Stunden. Ein Betrieb mit Batterien ist ebenfalls möglich.

Resumé

Mit der Entwicklung dieses Funksystems ist Sennheiser im wahrsten Sinne des Wortes an die physikalischen Grenzen des derzeit Machbaren gegangen und hat damit dem Umstand Rechnung getragen, dass das nutzbare Frequenzspektrum eine immer geringere werdende Resource ist. Man war daher bestrebt, ein System zu entwickeln, mit dem man möglichst viele Funkmikrofonkanäle eng nebeneinander mit höchster Audioqualität ungestört betreiben kann.

Das scheint mit dem „Digital 9000“ auch in einer Weise gelungen zu sein, die bisher nicht erreicht wurde.

Das System „Digital 9000“ wird auf der MEET 2012 von der Fa. Grothusen (Stand C4) präsentiert.



Studiotechnik

Schiensysteme, Teleskope, Pantographen, Hoist, Punktzüge, Horizontsysteme



Bühnentechnik

Obermaschinerie
Untermaschinerie



Bühnentechnik

Motorzüge, Rohrwellenzüge, Kettenzüge, Handkonterzüge, Vorhanganlagen



Commander

Steuerungssysteme, Automatisierung

LASTRO
ENGINEERING
by **M** MovieTech

Unterdörnen 81 - D 42283 Wuppertal
Tel. +49/202-705180 - Fax +49/202-705180
e-mail: lastro@lastro.de - www.lastro.de