Entwicklung eines digitalen FM-Radios

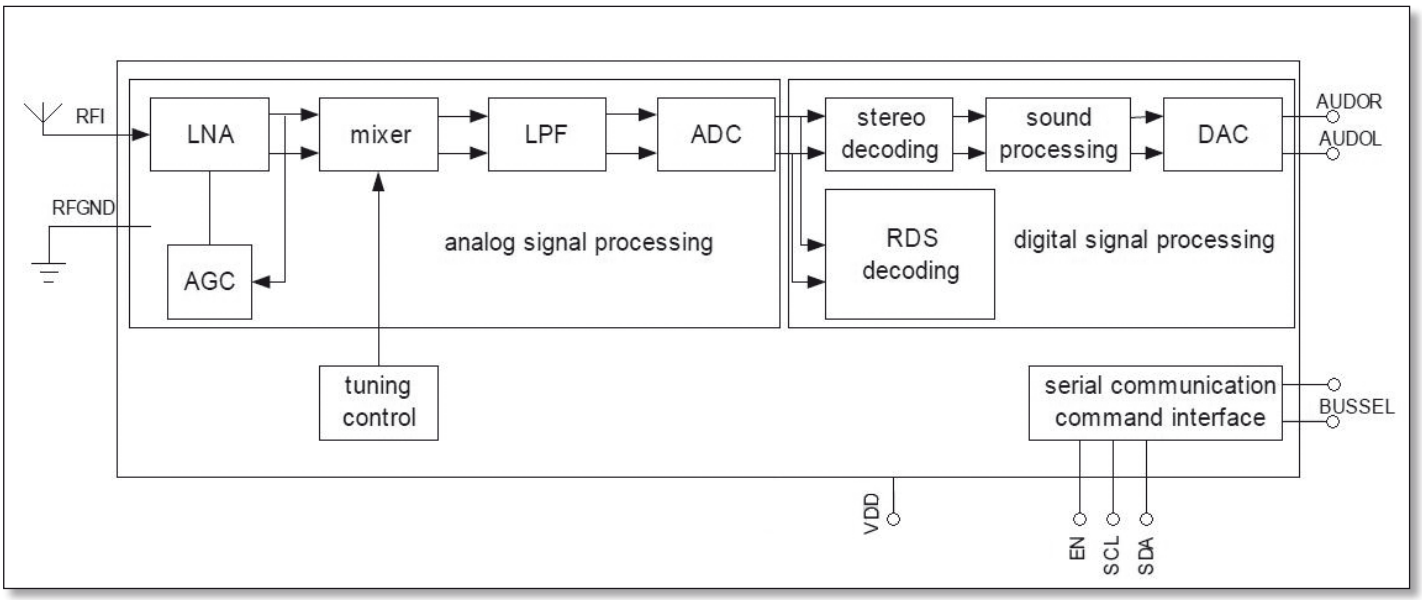

Bild 1: Blockschaltbild des Empfängers

Außerhalb der Industrieländer ist das UKW-Radio eine der beliebtesten Formen der Unterhaltung und dies gilt besonders in den Entwicklungsländern. Allerdings wird es mit dem Aufkommen des Internets und des Digitalradios von manchen als kurz vor dem Aussterben angesehen. Oft denken OEMs gar nicht erst daran, ein FM-Radio in einen Tablet-PC oder in andere Mobilgeräte zu integrieren, obwohl es in den meisten Metropolen immer noch voll funktionsfähige und beliebte UKW-Sender gibt, und auch keine Pläne, diese in naher Zukunft abzuschalten.

Es existieren jedoch kleine, leicht zu bedienende Plug-In-Geräte, die in Verbindung mit einem Tablet-PC oder Handy FM-Radiodienste auf verschiedensten mobilen Geräten ermöglichen. Ein solcher Plug-and-Play FM-Empfänger kann mit Hilfe eines FM-Empfänger-Chips in Verbindung mit einem Mikrocontroller oder SOC realisiert werden, wobei der Mikrocontroller bei der Kommunikation mit dem USB-Host auf dem Tablet-Handy als USB-Gerät agiert und Befehle für Funktionen wie Sendersuchlauf, Kanalwechsel oder Lautstärke empfängt. Diese busgespeisten Plug-and-Play-Empfänger können lokale UKW-Stationen empfangen, verbrauchen dabei aber deutlich weniger Strom als der Breitbandfunk.

FM-Radioempfänger-Chips decken den Frequenzbereich von 70 MHz - 108 MHz ab und sind daher in den US/EU-Regionen (87,5 - 108 MHz), Japan (76 - 90 MHz) und China (76 - 108 MHz) empfangsbereit. Meist kann die Empfangsfrequenz in Schritten von 50 kHz, 100 kHz oder 200 kHz eingestellt werden. FM-Radio unterstützt auch Radio Data Systeme (RDS) und Radio Broadcast Data Systeme (RBDS), die über den Host voll programmierbar sind. RDS wird verwendet, um zusätzlich zum übertragenen Audiosignal auch Textdaten zu empfangen (z. B. Titel des Songs, Namen des Programms), oder auch Flash-News für das Display anzuzeigen. In Notfällen kann RDS verwendet werden, um wichtige Informationen zu übertragen.

Band-Scanning ist eine Methode, durch die der Chip eines FM-Radios das gesamte UKW-Band auf verfügbare Radiosender durchsucht. Das Radio speichert die stärksten Kanalfrequenzen in seinem internen Speicher, der dann vom Host-Mikrocontroller oder SOC ausgelesen werden kann.

Sobald die Kanäle gespeichert sind, gibt es drei Möglichkeiten der Abstimmung auf einen bestimmten Kanal:

- Festsenderabstimmung: Hier widr die Abstimmfrequenz auf einen bestimmten vom Host definierten Kanal eingestellt
- Suchlauf: Der Empfänger sucht automatisch nach dem nächsten verfügbaren Kanal (in beiden Frequenzrichtungen)
- Schließlich gibt es noch die schrittweise Abstimmung, wo der Empfänger einfach die Kanäle in aufsteigender (Step-up) oder absteigender Frequenzabfolge (Step-down) durchgeht.

Die meisten heute verfügbaren Radioempfänger-Chips kommunizieren mit dem Host über Standard-Protokolle wie I2C und SPI. Der Radioempfänger-Chip verlangt auch, dass der Host bei Interrupts auf kritische Ereignisse reagiert, z. B:

- Geringe Signalgüte, wenn der Indikator für die empfangene Signalstärke (RSSI) unter einem bestimmten Schwellenwert liegt

Gautam Das
Cypress Semiconductor
www.cypress.com

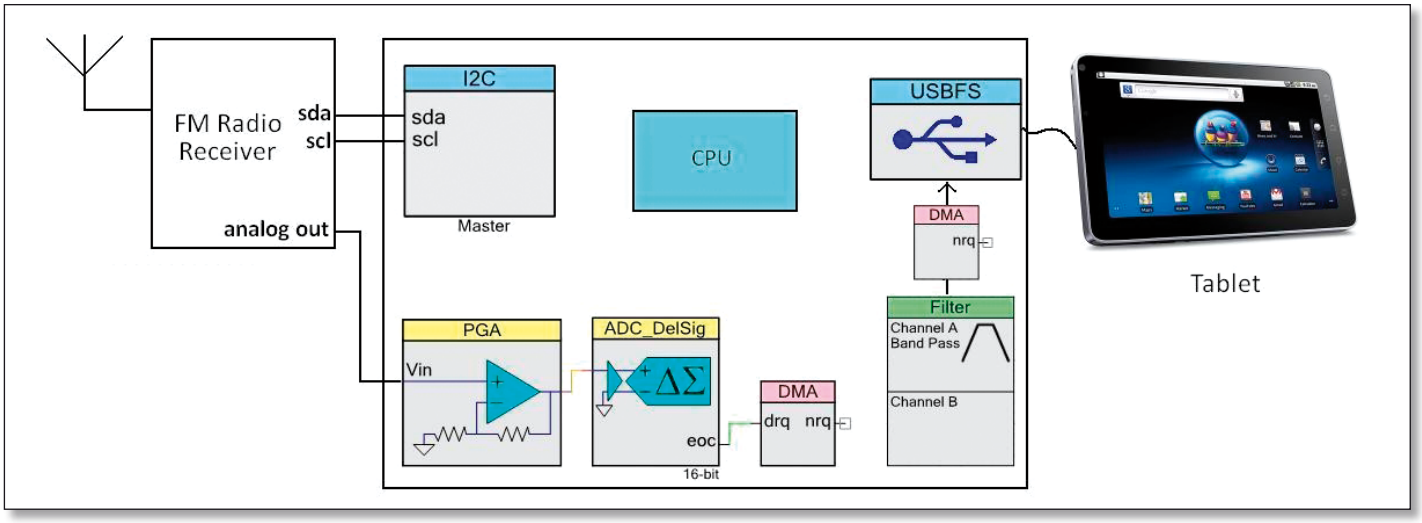

Bild 2: Blockschaltbild des Systems

- Übergang von Mono auf Stereo und umgekehrt
- Synchronisierung mit dem Radio Data System (RDS)
- Ausfall der RDS-Synchronisierung
- Voller RDS-Pufferspeicher

Da diese Embedded-Systeme auf batteriebetriebenen Geräten laufen, ist eine effiziente Energieverwaltung von höchster Bedeutung. Der Radioempfänger-Chip unterstützt verschiedene Power-Modi, die von der SOC gesteuert werden, um die Batterielebensdauer zu verbessern. Aus diesem Grund unterstützt ein Empfänger-Chip die folgenden Power-Modi:

- Power Off: In diesem Modus wird die Stromversorgung abgeschaltet, sämtliche internen Spannungsregler sind deaktiviert.
- Power Down: Das Netzteil ist eingeschaltet, aber die internen Spannungsregler sind noch deaktiviert.
- Standby: Die Spannungsregler sind aktiviert und der Betriebsmodus des Radios bleibt erhalten.
- Power Up: Dies ist der normale Betriebsmodus, in dem alle Spannungsregler aktiviert sind und das Radio voll funktionsfähig ist.

Bild 1 zeigt das Blockschaltbild eines FM-Empfängers.

Die erste Stufe besteht aus einer Verarbeitungsstufe für das Analogsignal, die das HF-Antennensignal auf eine niedrige Zwischenfrequenz (IF) als digitales Signal umwandelt. Die automatische Verstärkungsregelung (AGC) sorgt dafür, dass der rauscharme HF-Verstärker (LNA) in seinem linearen Betriebsbereich bleibt. Ein Mischer wird zur Abwärtskonvertierung des empfangenen HF-Signal in ein niedriges Zwischenfrequenzsignal (IF) verwendet. Der ADC wandelt das Signal in ein digitales Format um. Die FM-Demodulation wird digital durchgeführt. Der digitale Signalprozessor verarbeitet auch die RDS-Daten.

Umsetzung eines FM-Radios als Zubehörgerät

Bild 2 zeigt das Blockdiagramm einer vereinfachten Implementierung eines FM-Systems unter Verwendung eines generischen FM-Radio-Chips:

Mit dem Aufkommen moderner programmierbarer SOCs entfällt die Notwendigkeit für zusätzliche externe Komponenten (außer einigen passiven Bauelementen), um den vollständigen Entwurf zu realisieren. Das SOC sendet Befehle und empfängt Statusmeldungen vom FM-Radio-Chip über einen I2C-Anschluss. Das SOC ist mit dem Tablet durch die etablierte USB-Schnittstelle verbunden. Wenn das FM-Radio den Befehl erhält, sich auf eine bestimmte Frequenz einzustellen, wird an den entsprechenden Pins ein analoges Audio ausgegeben. Das analoge Ausgangssignal des FM-Radioempfängers wird durch das SOC verarbeitet und das digitalisierte Audiosignal über USB an den Tablet-Computer gestreamt. Der Strom für den Betrieb des FM-Radio-Chips wird vom USB-Bus entnommen. Die Stromaufnahme der meisten FM-Radio-Chips beträgt typischerweise ein paar Milliampere oder noch weniger bei 1,8 V. Dies liegt deutlich im Rahmen der Fähigkeiten des USB-Bus und für ein tragbares Gerät im akzeptablen Bereich.

Ein SOC muss folgende Module bereitstellen, um ein Radio als Zubehörgerät implementieren zu können:

- Verstärker
- Analog-Digital-Wandler (ADC)
- Kommunikationsprotokoll (I2C/SPI)
- USB-Schnittstelle
- Filterblock

Generell liegt die Amplitude des Audio-Ausgangssignals eines FM-Radio-Chips in der Größenordnung von 100 mV. Ein Verstärker dient zur Verstärkung des analogen Audiosignals des FM-Empfängers vor der Weitergabe an den ADC in einem SOC. Die Stärke des analogen Audio-Ausgangssignals wird anschließend durch einen Verstärker mit programmierbarer Verstärkung (PGA), wie im Blockdiagramm gezeigt, erhöht. Dadurch wird sichergestellt, dass der gesamte Eingangsbereich des ADC verwendet wird, um so eine getreue Nachbildung des Audiosignals am Ausgang des FM-Radio-Chips zu erhalten. Es ist auch möglich, das Signal unter Verwendung eines ADC mit einem kleineren Eingangsbereich zu digitalisieren. Je kleiner jedoch die Amplitude des Signals ist, desto anfälliger ist es für Systemrauschen.

Der Analog-Digital-Wandler (ADC) verwandelt das analoge Ausgangssignal des Verstärkers mit einer Abtastrate von 44,1 kHz in einen 16- Bit-Digitalwert. Die Abtastrate von 44,1 kHz gründet sich auf das Nyquist-Abtasttheorem, das besagt, dass die Abtastfrequenz mindestens das Doppelte der maximalen Signalfrequenz betragen muss.

Kommunikationsprotokoll - ein Standardprotokoll (z. B. I2C oder SPI) dient als Schnittstelle zwischen SOC und FM-Empfänger. Wenn I2C verwendet wird, fungiert das SOC als Master und der Radioempfänger-Chip als Slave (bei einer Datenrate von 100/400 kHz). Befehle zum Senderwechsel oder zum Scannen des UKW-Bands können an

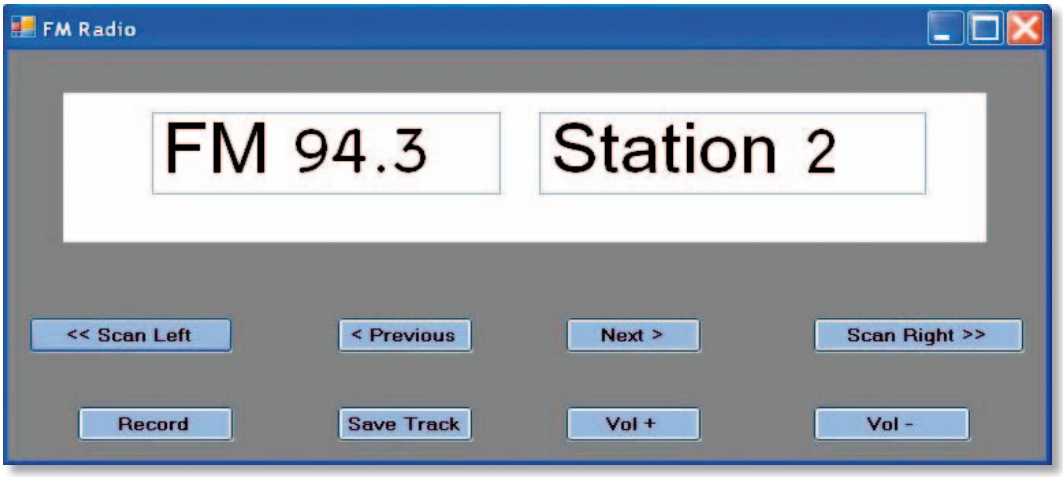

Bild 3: FM-Radio-GUI

den FM-Empfänger-Chip vom I2C-Master über den I2C-Bus ausgegeben werden. Der FM-Empfänger-Chip ist in der Lage vordefinierte Befehle zu dekodieren, um verschiedene Aufgaben zu erfüllen.

Wird RDS verwendet, so können die vom FM-Empfänger empfangenen digitalen Informationen von der Steuerung über die I2C-Schnittstelle ausgelesen werden.

Es ist möglich, andere Status-Informationen wie etwa die empfangene Signalstärke (RSSI) aus dem FM-Radioempfänger über I2C auszulesen und diese auf dem Tablett oder PC anzuzeigen.

Direct Memory Access (DMA) - In vielen Mikrocontrollern ist DMA eine leistungsstarke Funktion, die durch direkten Zugriff auf den Speicher hilft den Prozessor zu entlasten. Mittels DMA können die konvertierten digitalen Daten aus dem ADC in den Speicher oder direkt auf den USB-Bus übertragen werden, während die CPU mit anderen kritischen Aufgaben beschäftigt ist.

Host-Anwendung

Der Host führt eine Anwendung aus, die als Front-End zur Steuerung des Radioempfängers dient. Wenn der Host auf Android OS läuft, kann eine einfache GUI mittels Standard Java- und Android-Bibliotheken erstellt werden. Auf einem Windows Tablet, kann eine einfache in C# geschriebene GUI diese Aufgabe übernehmen. Control-Objekte (z. B. Schaltflächen) sind vorhanden, um Kanal, Senderposition usw. zu wählen.

Der DirectSound-Treiber des Windows-Betriebssystems wird mit dem isochronen Übertragungsmodus von USB verwendet, um das Tonsignal an die Lautsprecher zu streamen. Diese Funktion steht auf Windows 7 OS ebenfalls zur Verfügung. Windows 8 OS, das speziell für Tablets entwickelt wurde, unterstützt ein GUI und Audio-Treiber ohne weitere Anpassungen. Die isochrone Übertragung wird auf Android-Tablets derzeit nicht unterstützt. Apples iPad und einige andere iOS-Geräte verfügen über einen integrierten USB-Host, so dass eine isochrone Übertragung für die Audiowiedergabe verwendet werden kann.

Die Front-End Host Application/ Windows Form Anwendung in Windows wird verwendet, um Events auf Anforderungen des Benutzers zu generieren, z. B.:

- Anforderung des Sendersuchlaufs
- Anforderung einer höheren Station
- Anforderung einer niedrigeren Station
- Anforderung des Indikators für die empfangene Signalstärke (RSSI) vom Empfänger.

Im Falle von Windows kann die Anwendung mit C# in Visual Studio entwickelt werden. Das USB-Gerät und seine Endpunkte können über Standard-Bibliotheken oder mithilfe von benutzerdefinierten Bibliotheken der SOC-Hersteller angesprochen werden. Die Bibliothek bietet Methoden und Objekte, um über die USB-Schnittstelle auf das SOC zuzugreifen. Eine „Windows Form“ kann erstellt werden, um Befehle zu senden und Status-Informationen anzuzeigen (siehe Beispiel unten).

Moderne SOCs wie PSoC 3 können als Single-Chip-Implementierung für Plug-and-Play FM-Radios als Zubehörgerät verwendet werden. Die Verstärkung des analogen Audiosignals, Digitalisierung, Filtern und Streamen an einen Host sowie Steuerung des FM-Empfängers lassen sich effizient umsetzen. Dieser busgespeiste Baustein kann in Low-Power-Modi wie Standby und Power-Down betrieben werden, die sowohl vom FM-Empfänger und SOC unterstützt werden, wenn sie nicht in Gebrauch sind und erweist sich so als höchst effizient in batteriebetriebenen Hosts wie Tablet-PCs. Jetzt, wo die Ära der Tablet-PCs gerade beginnt, lässt sich mit kleinen Zubehörgeräten wie diesen großer Mehrwert mit Hilfe der bereits vorhandenen Ressourcen des jeweiligen Geräts hinzufügen. ◄