

Toplu Taşıma Sistemleri İçin Bir Araç İçi Görüntüleme Uygulaması

An In-Car Displaying Application for Public Transportation Systems

Sadık Arslan ve Ercüment Türk

Araştırma Geliştirme Bölümü, İzmir, Türkiye
Kentkart Ege Elektronik A.Ş.
sadik.arslan@kentkart.com.tr, ercument.turk@kentkart.com.tr

Özet

Günümüzde toplu taşıma araçlarında ücret toplama, yolcu bilgilendirme, araç takip, güvenlik kameraları gibi birçok farklı elektronik sistem bulunmaktadır. Bu sistemlerin yolcularla iletişimi için ise çok sayıda ve farklı teknolojilere sahip görüntüleme aygıtına ihtiyaç duyulmaktadır. LCD'ler ve LED paneller gibi birçok monitör, LVDS, HDMI, VGA, CVBS, YPbPr, RS485, RS232, SD-HDI gibi farklı ara yüzler ile çalıştırılmaktadır. Bu çalışmada, otobüs, tren, metro gibi toplu taşıma araçlarındaki farklı ihtiyaçlara göre farklı ara yüzleri destekleyen bir gömülü sistem ürün tasarlanmıştır.

Abstract

Today public transportation vehicles have different electronic systems such as fare collection, passenger information, vehicle tracking, surveillance systems. Imaging devices that have many different technologies are required for communicating these technologies with passengers. Many monitors such as LCD and LED panels are operated with different interfaces such as LVDS, HDMI, VGA, CVBS, YPbPr, RS485, RS232 and SD-HDI. In this study, an embedded system product supporting different interfaces is designed according to different requirements in public transportation vehicles such as bus, train and subway.

1. Giriş

Bu çalışmada, toplu taşıma araçlarında ihtiyaç duyulan görüntüleme sistemlerinin gömülü sistem kartlar üzerinden desteklenmesi sağlanmıştır. Sıvı kristal ekran (Liquid Crystal Display, LCD) ve Işık Yayan Diyot (Light Emitting Diode, LED) monitörler Düşük Voltaj Fark Sinyali (Low Voltage Differential Signaling, LVDS), Yüksek Çözünürlüklü Çoklu Ortam Ara yüzü (High Definition Multimedia Interface, HDMI), Video Grafik Dizisi (Video Graphics Array, VGA), CVBS (Composite Video Blanking and Sync, Kompozit Video), YPbPr (Komponent Video), RS485, RS232, Yüksek Çözünürlüklü Seri Sayısal Ara yüz (High Definition Serial digital interface, HD-SDI) [1] gibi ara yüzler tarafından desteklenebilecek şekilde sistem tasarımı gerçekleştirilmiştir. Birçok farklı çözünürlüğün desteklenmesi sağlanmıştır. Tasarlanan gömülü sistem kartta, gömülü sistemin yapısında temel olarak bulunan işlemci, tüm birimleri besleyen güç kaynağı, bellek, kayıt birimleri, haberleşme ara yüzleri, algılayıcılar gibi bölümler bulunmaktadır [2]. Tasarlanan

sistem birçok farklı görüntüleme teknolojisini destekleyeceği gibi toplu taşıma ortamına uygun olacak şekilde çevresel vibrasyona ve gürültülere karşı dayanıklı olacak şekilde gerçekleştirilmiştir. Tüm sistem, Linux işletim sistemli, ARM çekirdekli bir mikroişlemciyle tek merkezden kontrol edilmektedir.

Toplu taşıma araçlarında ihtiyaç duyulan görüntüleme sistemleri aşağıda listelenmiş ve sistem geliştirmesi bu maddeler üzerinden yapılmıştır:

- HD-SDI ve Kategori 5 kablo (Cat 5) ara yüzü ile uzak mesafedeki VGA monitör ve LVDS LCD sürme işlemi
- 24bit paralel veri hattı (Reg Green Blue, RGB) ve LVDS ara yüzleri ile RGB LCD ve LVDS LCD sürme işlemi
- CVBS, YPbPr ve VGA ara yüzleri ile monitör çalıştırma işlemi
- RS485 ve RS232 ara yüzleri ile LED panel sürme işlemi
- HDMI ara yüzü ile HDMI monitör çalıştırma işlemi

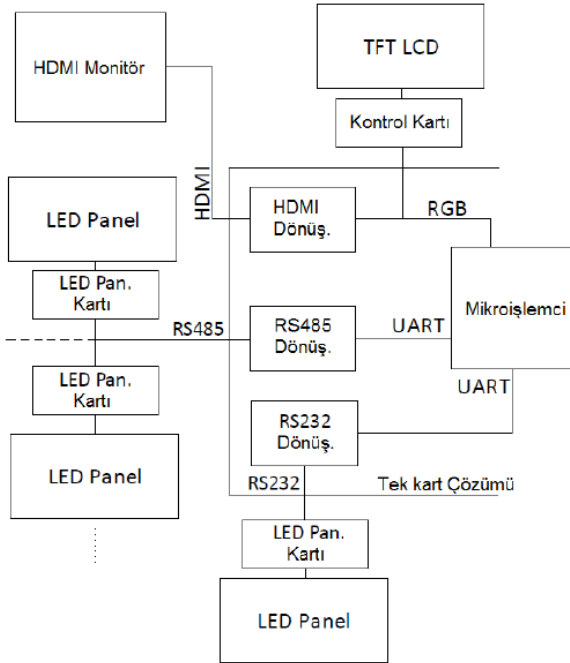
Toplu taşıma araçlarında ihtiyaç duyulan görüntüleme sistemlerinin tek kart üzerinden desteklenebilmesi için mikroşemcili bir sistem ihtiyacı bulunmaktadır. Öncelikle bu işlevleri destekleyebilecek bir mikroşemci seçimi yapılmıştır. Fiyat/performans değerlendirmeleri farklı üreticiler karşılaştırılarak yapılmış ve NXP firmasından i.MX53 entegre devresi tasarımı için seçilmiştir. Bu entegre devre ARM-A8 çekirdekli olup, donanımsal video dönüştürücüleri (codec) ve hızlandırıcıları içermektedir [3].

Günümüzde, oldukça sık kullanılan görüntüleme tekniklerinden olan HD-SDI [4 - 10], HDMI [11], CVBS [12], RGB LCD [13 - 15], RS485 [16 - 20], RS232 [21 - 25], VGA [26, 27], VGA Cat 5 [28] gibi konular hakkında optik ortam, kablosuz transfer gerçekleştirme, güç verimliliği, yeni alanlarda kullanım, verimlilik gibi başlıklarda çalışmalar mevcuttur.

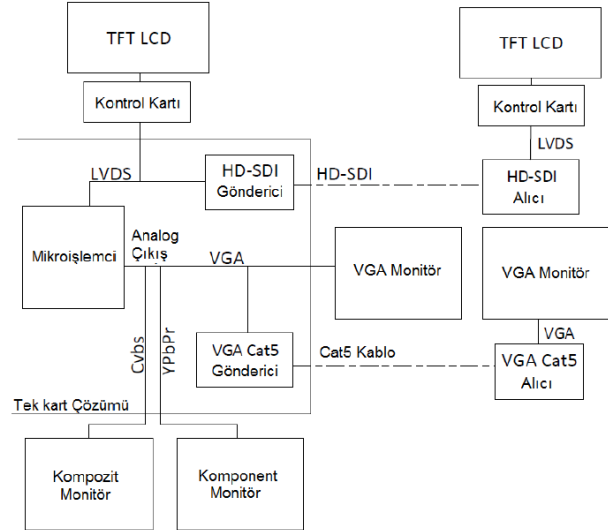
Bildirinin ikinci bölümünde geliştirilen toplu taşıma görüntüleme sisteminin donanımsal yapısı ve sinyallerin sistemdeki durumları anlatılmaktadır. Üçüncü bölümde, tüm sistemin yazılımsal yapısı ve kullanılan mikroşemcinin projedeki kullanımları verilmiştir. Dördüncü bölümde, geliştirilen toplu taşıma görüntüleme sistemi için sonuçların değerlendirilmesi yer almaktadır.

2. Sistemin Donanımsal Yapısı

Toplu taşıma koşullarına uygun, dayanıklılığı yüksek cihazlarda 4"-15" aralığındaki İnce Film Transistör (Thin Film Transistor, TFT) LCD'lerin çalıştırılabilmesi için 24bit paralel veri içeren RGB ve LVDS ara yüzleri kullanılmaktadır. VGA, HDMI, Komponent ve Kompozit ara yüzleri ile uygun monitörler çalıştırılmaktadır. Ancak bu ara yüzler genelde 0-5m aralığında mesafelerde iyi çalışmaktadır. Daha uzak mesafelerde araç içi gürültülerden kaynaklı olarak görüntü kalitesi düşmektedir. Bu nedenden dolayı 5-50m uzaklıklarda görüntü transferi sağlanabilmesi için Cat 5 kablodan diferansiyel hatlar kullanarak VGA transferi ve HD-SDI kullanarak görüntü transferi yapılmaktadır. Cat 5 kablodan sinyal taşınabilmesi için VGA çıkışında gönderici devresi tasarlanmıştır. Cat 5 ile taşınan sinyal monitörün yanında tekrar VGA sinyaline tasarlanan alıcı devresi ile dönüştürülmektedir. Böylece VGA sinyalinin bozulmasından kaynaklı kötü görüntü problemi çözülmektedir. HD-SDI ara yüzünün kullanılması için ana kart üzerine LVDS sinyalini dönüştüren bir devre konulmuştur. HD-SDI olarak gönderilen sinyal monitör tarafında tekrar LVDS sinyaline tasarlanan devre ile dönüştürülmektedir. Elde edilen LVDS sinyali ile TFT LCD çalıştırılmaktadır. Araç içinde bulunan diğer bir görüntüleme sistemi de LED panellerdir. LED paneller RS232 ve RS485 ara yüzleri kullanılarak çalıştırılmaktadır. Aynı hattan RS232 kullanarak tek panel, RS485 kullanarak ise birden fazla panel sürülebilmektedir. Panellerin çalıştırılabilmesi de sinyaller kontrol kartına girilmektedir. Kontrol kartları da LED panelleri sürmektedir. Sistemin HDMI desteği, mikroişlemcinin RGB çıkışının bir HDMI dönüştürücü entegresi aracılığı ile dışarı alınması ile sağlanmıştır. Tasarlanan sistemin donanımsal yapısı Şekil 1 ve 2'deki gibidir. Burada tüm donanımsal ara yüzler ve dönüştürücü bloklar görülebilmektedir. İhtiyaçların tümünü kapsayan bir çözüm sunulmaktadır.



Şekil 1: Tasarlanan sistemin donanımsal yapısı – 1.



Şekil 2: Tasarlanan sistemin donanımsal yapısı – 2.

Sistem tasarlanırken titreşime karşı dayanıklılık ve yüksek ve düşük sıcaklıklarda düzgün çalışabilme gibi konularda önem verilmiştir. Toplu taşıma araçlarının koşullarına uyum sağlanabilmesi için uygun malzeme seçimi yapılmıştır. Görüntüleme sinyallerinin iletim hatlarında bulunacak olan kablo ve konnektörler için endüstriyel ve otomotiv uyumlu malzemeler tercih edilmiştir. Düşük ve yüksek sıcaklıklara uyumluluk için -40-80C derece aralığında çalışabilecek malzemeler tercih edilmiştir. Ayrıca tüm tasarım basamaklarında düşük ve yüksek sıcaklıklarda çalışma testleri laboratuvar koşullarında yapılmıştır.

3. Sistemin Yazılımsal Tasarımı

Mikroişlemcide Görüntü İşleme Birimi (Image Processing Unit, IPU) çalışarak sistemdeki video işlemlerinin tümü gerçekleştirilir [29]. IPU, VGA, CVBS, YPbPr gibi analog çıkışları da veren donanımsal bloktur. IPU sisteminde her resim çerçevesi (frame) için görüntünün ekrana basılmadan önce saklandığı bellek alanına çerçeve tamponu (frame buffer) denir [3]. Bu alandaki videonun çözünürlük, saat frekansı gibi bilgileri sistemin açılmasından önce girilmektedir. Toplamda 2 adet çerçeve tamponu (FB0 ve FB1) aynı anda paralel olarak çalışabilmektedir. Bu tamponların ilki VGA, CVBS veya YPbPr sinyallerinden bir tanesinin dışarıya çıkmasını sağlayacak şekilde atanmıştır. Diğeri de LVDS veya RGB verilerinin bir tanesinin sürülmesini sağlamaktadır. Çerçeve tamponları entegre çıkışlarına donanımsal olarak ulaşırlar ve görüntü sinyali oluşmuş olur. Böylece örneğin, tasarlanan cihazın üzerindeki 7" TFT LCD'de uygulama çalışırken, aynı anda VGA ara yüzü ile monitör çalıştırılmaktadır. Toplu taşıma sistemini kullanan müşteriler, otobüsün ön tarafında kartlarını kullanarak, ücret düşümü yaparken cihazın ekranından bakiye bilgilerini görebilmektedir. Aynı cihaza bağlı olan bir VGA monitörden de oturmakta olan yolcular bilgilendirilmektedir.

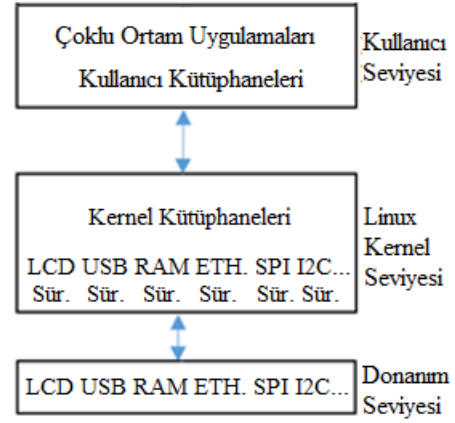
Tasarlanan sistemde FB0 ve FB1'den dışarıya hangi tipte ve özellikte görüntü verileceğinin belirlenmesini sağlayan bir yapı tasarlanmıştır. Bu yapıda donanım ve yazılım birlikte çalışmaktadır. Kullanılacak olan CVBS, YPbPr, VGA, LVDS, RGB formatları için gerekli olan çözünürlükler ve ayarlar

belirlenmiştir. Tasarlanan araç içi görüntüleme sisteminde Linux Kernel 2.6.35.3 [30] işletim sistemi kullanılmaktadır. Bu işletim sistemin üzerinde çalıştırılacak olan uygulamalar açık kaynak kodlu ve ücretsiz olan Eclipse [31] derleyicisinde geliştirilmiştir. Belirlenen çözünürlükler ve ayarlar Linux Kernel’de bulunan ilgili kod dosyalarında uygun yapılara işlenmiştir. Çizelge 1’de desteklenen formatlardaki çözünürlükler ve nokta saat (pixel clock) değerleri verilmiştir. Bu çizelgedeki tüm görüntü ayarlamaları tasarlanan sistem tarafından desteklenmektedir. Uygun LCD ve monitörler tarafından denemeleri yapılmıştır ve uygun görüntüler elde edilmiştir.

Çizelge 1: Sinyallere göre çözünürlük ve nokta saat bilgileri

Sinyal	VGA	LVDS	
Konfigürasyon No	0	800x600@40M	800x480@27M
	1	1024x768@65M	640x480@65M
	2	1024x768@75M	1920x1080@130M
	3	1280x1024@108M	1024x768@65M
	4	1680x1050@294M	1280x720@74M
	5		1024x768@75M
	6		
Sinyal	RGB	Kompozit	
Konfigürasyon No	0	800x480@27M	720x480@13.5M
	1	640x480@38M	720x576@13.5M
	2	320x240@15M	1280x720@74M
	3	1280x1024@74M	
	4	1920x1080@74M	
	5	480x272@9M	
	6	1024x768@65M	
Sinyal	Komponent		
Konfigürasyon No	0	720x480@13.5M	
	1	720x576@13.5M	
	2	1280x720@74M	
	3	1920x1080@74M	
	4	1680x1050@294M	
	5		
	6		

Genel olarak yapılan çalışmada Şekil 3’deki gibi bir katmanlı yazılım donanım yapısı mevcuttur. Tasarlanan donanım işletim sistemine sürücüler yardımı ile bağlanmaktadır. Örneğin RGB sinyalinden HDMI sinyaline dönüşüm yapan entegre devrenin çalıştırılması için uygun sürücü yazılmıştır. Burada sürücüler Kernel çekirdek kısmı ile sürekli iletişim halindedir. Kernel’de uygulama yönetimi, bellek yönetimi, ağ işlemleri gibi işlemler gerçekleştirilmektedir. Kullanıcı seviyesinde ise projede geliştirilen kütüphaneler ve uygulamalar bulunmaktadır. Bu şekilde tüm sistem donanım ve yazılımı bir bütün olarak çalışmaktadır.



Şekil 3: Çalışma yapılan sistem seviyeleri.

Kernel seviyesinde mikroişlemci donanımına uygun çerçeve tampon, V4L2 (Video for Linux 2), IPU gibi kütüphaneler ve yapılar bulunmaktadır. Kullanıcı seviyesinde de çoklu ortam çerçeveleri (multimedia frameworks) ve V4L2 kütüphaneleri ile kullanıcı programlarına görüntüleme sistemleri için hizmetler mevcuttur. Kullanıcı katmanında bulunan uygulamalarından olan Mplayer [32] ve Gstreamer [33] gibi uygulamalar V4L2 ara yüzünü kullanarak video dosyalarını görüntüleme işlemlerini gerçekleştirirler. Her ikisi de açık kaynak kodlu olan uygulamalar, gerçekleştirilen çalışmada yazılan kullanıcı uygulamalarında kullanılmıştır.

Geliştirilen uygulamalar temel olarak LED panelleri, TFT LCD panelleri ve monitörleri çalıştırmaya yönelik işlemler yapmaktadırlar. Bu uygulamalar birçok farklı kütüphaneyi ve uygulamayı kullanarak FB0 ve FB1’deki görüntüleri ekranlara taşımaktadırlar. Uygulamalarda görsel ara yüz tasarımı ihtiyacı olması durumunda GTK kütüphaneleri [34] kullanılmıştır. GTK, açık kaynak kodlu, ücretsiz olarak dağıtılan, çok platformlu grafiksel kullanıcı ara yüzü geliştirme araç kütüphaneleridir. GTK, Linux işletim sistemlerinde grafik ara yüz altyapısını sunan X pencere sistemi [35] ile çalışmaktadır ve görsel grafik ara yüz tasarımlarında oldukça sık kullanılmaktadır. Video oynatmak için FFmpeg [36] kütüphaneleri kullanılmıştır. FFmpeg uygulaması libavcodec, libavutil, libavformat, libavfilter, libavdevice, libswscale ve libswresample kütüphanelerini içermektedir.

Projede, video çalıştırılırken işlemci gücünden kayıp yaşanmaması için donanımsal olarak desteklenmiş (hardware-accelerated video streaming) özelliklerin kullanılması sağlanmıştır. Kullanılan mikroişlemcinin desteklediği özelleştirilmiş donanımlar kullanılarak, işlemci üzerinde çok fazla işlem harcayacak olan video çözme ve oyun gibi uygulamalar, işlemci zamanı kullanılmadan çalıştırılmıştır. İşlemci ile grafik işlemcisi arasındaki gerekli durumlarda yük paylaşımı yapılmaktadır ve bu mantıksal paylaşım sonucunda daha yüksek hızlı ve kaliteli grafik görüntüleme sonucu elde edilmiştir. Bu sayede LCD panellerden görüntü oynatma gibi sık kullanılan işlemlerin, işlemciden hiç zaman almadan, gerçekleştirilmesi sağlanmıştır. Geliştirilen sistemin performans ve verimini arttırılmıştır. Bu işlemlerde Gstreamer kütüphaneleri kullanılmıştır.

Yapılan çalışmalarda karşılaşılan problemlerin çözülebilmesi için hata ayıklama işlemi yapılmış ve gerekli olan Eclipse ve JTAG (The Joint Test Action Group) araçları kullanılmıştır [37].

4. Sonuçlar

Proje öncesi ihtiyaçlar doğrultusunda, toplu taşıma görüntüleme sistemlerinde kullanılan farklı sinyaller, LCD'ler, LED panellerin çalıştırılması sağlanmıştır. Bu işlemler yapılırken gömülü sistem ve mikroişlemcili platform kullanılmıştır. Toplu taşıma araçlarındaki, uzak mesafeye iletilen analog sinyallerin bozulma problemi üzerinde çalışılmıştır. Farklı görüntüleme tekniklerinin desteği için Kernel'de, sürücü seviyesinde ve kullanıcı seviyesinde yazılımsal çalışmalar yapılmıştır.

5. Teşekkür

Yazarlar, bu çalışmaya maddi ve laboratuvar olanakları açısından verdiği destek için Kentkart Ege Elektronik A.Ş.'ne teşekkür eder.

6. Kaynaklar

- [1] Jack, K., Video Demystified, A Handbook for the Digital Engineer, 3th ed., LHH Technology Publishing, 2001.
- [2] Hallinan, C., Embedded Linux Primer: A Practical, Real-World Approach, Prentice Hall, New York, 2006.
- [3] MCIMX53 Multimedia Applications Processor Security Reference Manual, Rev. 2.0, NXP Semiconductor, 2015.
- [4] Harding, P., Sherratt, R. S. and Guy, C. G., "Convergence of standard definition (SD) and high definition (HD) SDI for audio multiplexing and demultiplexing by implementing modular design", 2004 IEEE International Symposium on Consumer Electronics, 2004, 541 – 544.
- [5] Lee, S., Okamura, K. and Lee, J., "Medical Application of Internet Based Multipoint Tele-Conference Technology", CISIS '09. International Conference on Complex, Intelligent and Software Intensive Systems, 2009, 1001 – 1005.
- [6] Jeong, Y., Kim, W., Moon, K. and Kim, J., "FPGA based implementation of real-time watermarking for high definition video", ISPACS 2009. International Symposium on Intelligent Signal Processing and Communication Systems, 2009, 603 – 606.
- [7] Okabe, S. et al, "10-Gbps forward error correction system for 120-GHz-band wireless transmission", 2010 IEEE Radio and Wireless Symposium (RWS), 2010, 472 – 475.
- [8] Lee, H. et al, "Highly alignment tolerant optical HD-SDI interconnect", 2012 Optical Interconnects Conference, 2012, 88 – 89
- [9] Crepaldi, M., Franchino, D., Scavarda, M. and Graziano, M., "A Multistandard Digital HD/SD Audio Multiplexer With Modular Ancillary Packet Substitution", IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology, Volume: 22, Issue: 10, 1433 - 1440, 2012.
- [10] Lee, H., Lee, S. and Son, Y., "High Tolerance Receptacle Type Active Optical Interconnect Incorporating Collimated Beam Based Optics", Journal of Lightwave Technology, Volume: 31, Issue: 5, 815 - 821, 2013.
- [11] Gopikrishnan, R., Sankara, V., Pasupureddi, R. and Regeti, G., "A Power Efficient Fully Differential Back Terminated Current-Mode HDMI Source", 2014 27th International Conference on VLSI Design and 2014 13th International Conference on Embedded Systems, 2014, 575 – 579.
- [12] Zhang, H., Li, X., Chen, Y. and Cheng, J., "A switched-capacitor programmable-gain amplifier for high-definition video analog front-ends", 2012 IEEE 11th International Conference on Solid-State and Integrated Circuit Technology (ICSICT), 2012, 1 – 3.
- [13] Lee, S. et al, "New Design and Application of High Efficiency LED Driving System for RGB-LED Backlight in LCD Display", 37th IEEE Power Electronics Specialists Conference PESC '06, 2006, 1 – 5.
- [14] Chiu, H. et al, "Design of an RGB LED Backlight Circuit for Liquid Crystal Display Panels", IEEE Transactions on Industrial Electronics, Volume: 56, Issue: 7, 2793 – 2795, 2009.
- [15] Jeon, H. K., Moon, H. Y., Kang, J. K. and Kim, L. S., "An Intra-Panel Interface With Clock-Embedded Differential Signaling for TFT-LCD Systems", Journal of Display Technology, Volume: 7, Issue: 10, 562 – 571, 2011.
- [16] Li, Z. et al, "Hardware Design of Automatic Meter Reading System Based on Internet", IEEE International Symposium on Knowledge Acquisition and Modeling Workshop, 2008, 536 – 539.
- [17] Shi, L. and Guo, B., "RS485/422 Solution in Embedded Access Control System", 2009 2nd International Conference on Biomedical Engineering and Informatics, 2009, 1 – 4.
- [18] Saranlı, U., Avci, A. and Ozturk, M. C., "A Modular Real-Time Fieldbus Architecture for Mobile Robotic Platforms", IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement, Volume: 60, Issue: 3, 916 - 927, 2011.
- [19] Yingmin, Y. Chong, C., Guichu, W. and Shangting, C., "Research of Hand-Held Urine Analyzer Based on Photoelectric Technology and STM32F103 Embedded Systems", 2010 International Conference on Computational and Information Sciences (ICIS), 2010, 174 – 177.
- [20] Niu, T., "A research on the design of smart pressure transmitter", 2012 International Conference on Computer Science and Information Processing (CSIP), 2012, 803 – 806.
- [21] Zuquim, L. D., et al., "An embedded converter from RS232 to Universal Serial Bus", 14th Symposium on Integrated Circuits and Systems Design, 2001, 91 – 96.
- [22] Popa, M., Popa, A. S., Cretu, V. and Micea, M., "Monitoring Serial Communications in Microcontroller Based Embedded Systems", 2006 International Conference on Computer Engineering and Systems, 2006, 56 – 61.
- [23] Kim, S. G. And Cho, S. H., "Implementation of an embedded software modem platform", 2008 International Conference on Advanced Technologies for Communications, 2008, 356 – 359.
- [24] Nagar, R., Sadistap, S. and Rao, K. S. N., "Programmable multi channel monitoring and control Linux based data acquisition system", IMPACT '09. International Multimedia, Signal Processing and Communication Technologies, 2009, 56 – 59.

- [25] Leboeuf-Pasquier, J., Villa, A. G., Burgos, K. H. and Carr-Finch, D., “Implementation of an embedded system on a TS7800 board for robot control”, 2014 International Conference on Electronics, Communications and Computers (CONIELECOMP), 2014, 135 – 141.
- [26] Gu, S. and Hulin, Z., “The design of image acquisition and display system”, 2010 2nd International Conference on Education Technology and Computer, 2010, V5-23 - V5-26.
- [27] Shi, D. And Ye, X., “Design of VGA Display System Based on CPLD and SRAM”, 2013 Third International Conference on Intelligent System Design and Engineering Applications (ISDEA), 2013, 579 – 582.
- [28] Chang, Y., Tsai, T., Hsu, S. and Lin, H., “Realization of an auto-calibrated long-range VGA extender”, 2011 6th IEEE Conference on Industrial Electronics and Applications, 2011, 636 – 639.
- [29] i.MX53 START Linux Reference Manual, Rev 1.0, NXP Semiconductor, 2011.
- [30] The Linux Kernel Archives. [Online]. Available: <https://www.kernel.org/>, 2016.
- [31] The Eclipse open source project. [Online]. Available: <https://eclipse.org/>, 2016.
- [32] Mplayer multimedia project. [Online]. Available: <http://mplayerhq.hu/>, 2016.
- [33] Gstreamer open source multimedia framework. [Online]. Available: <http://gstreamer.freedesktop.org/>, 2016.
- [34] The GTK+ project. [Online]. Available: <http://www.gtk.org/>, 2016.
- [35] The X.Org open source project. [Online]. Available: <http://www.x.org/>, 2016.
- [36] FFmpeg multimedia project. [Online]. Available: <https://ffmpeg.org/>, 2016.
- [37] Using Open Source Debugging Tools for Linux on i.MX Processors, Application Note, Freescale Semiconductor, 2010.