

Receptor Multibanda de Bajo Costo para la Recepción de Imágenes de Satélites Meteorológicos y SSTV

Flores, Gary¹; López, Ericson ¹; Tituaña, Luis¹; Lupera, Pablo²

¹Escuela Politécnica Nacional, Observatorio Astronómico de Quito, Quito, Ecuador

¹Escuela Politécnica Nacional, Facultad de Ingeniería Eléctrica y Electrónica, Quito, Ecuador

Resumen: El sistema presentado en el presente artículo, es un sintonizador de banda ancha de bajo costo, que utiliza un sintonizador de TV analógico común para la recepción de señales de radiofrecuencia, provenientes de fuentes satelitales o terrestres, en el rango de 45.75 MHz a 1,3 GHz

Palabras clave: Satélite, Imagen, Recepción, Radiofrecuencia.

Low Cost Multiband Receiver for the Reception of Images from Meteorological Satellites and SSTV

Abstract The system presented in this paper is a low-cost broadband tuner that uses a common analog TV tuner to the reception of radio frequency signals from different satellite or terrestrial sources, in the range of 45.75 MHz to 1.3 GHz.

Keywords: Satellite, Image, Reception, Radiofrequency.

1. INTRODUCCIÓN

El tratamiento de señales en radiofrecuencia para el envío y recepción de datos, imágenes, voz y sonido, abre la puerta a un sinnúmero de aplicaciones que se enmarcan en diferentes campos, como en el de la investigación, la educación, salud, comercio, ocio, transporte, entre otros.

Gracias al desarrollo de la industria aeroespacial, en las últimas décadas, es cada vez más habitual el hablar de satélites, pues contar con sistemas de posicionamiento GPS, o poseer sistemas de televisión satelital en los hogares, se ha vuelto muy común.

Sin embargo, el uso de satélites ha tenido también un gran impacto en el desarrollo de aplicaciones científicas, particularmente en meteorología, donde el estado climático del planeta puede ser estudiado mediante estos dispositivos.

Desgraciadamente, para países en los que el poder adquisitivo de los ciudadanos es bajo, como es el caso de Ecuador, la compra de receptores de radiofrecuencia satelital y particularmente de recepción de imágenes, es demasiado costosa. Esto limita el empleo de dichas imágenes con fines

educativos y de investigación. Por tal razón, en el presente artículo se presenta una solución de bajo costo, referida al diseño de un sintonizador capaz de recibir tales señales.

Este versátil sintonizador no sólo puede recibir las señales satelitales expuestas en este trabajo, sino que también puede ser empleado en otras aplicaciones tales como: sintonización FM, audio de canales de TV, recepción de frecuencias de radioaficionado, recepción de señales ADS-B (Automatic Dependent Surveillance – Broadcast) (CyTAL 2016, 2016) de posicionamiento de aviones, scanner de frecuencias dentro del rango de trabajo del sintonizador y su respuesta en audio en FM, recepción de señales de radiosondas (Radiosondas, 2015), policiales, entre otras.

En el presente trabajo se describirá al Receptor Multibanda de Bajo Costo para la Recepción de Imágenes de Satélites Meteorológicos y SSTV, empezando en la sección 2 con una breve descripción de los satélites artificiales, en especial de los meteorológicos, su forma de trabajo y envío de señales a tierra, para posteriormente en la sección 3 dar una descripción detallada del sintonizador y su funcionamiento, y en la sección 4 veremos su aplicación en la recepción de imágenes del tipo SSTV.

gary.flores@epn.edu.ec

Recibido: 09/08/2017

Aceptado: 23/02/2018

Publicado: 31/01/2018

2. SATÉLITES METEOROLÓGICOS

Los satélites meteorológicos son un tipo de satélite artificial que se utiliza principalmente para supervisar el tiempo atmosférico y el clima de la Tierra (International Space Station, 2017) (National Oceanic and Atmospheric Administration, 2015). Con estos dispositivos puede analizarse la nubosidad, las iluminación de las ciudades, incendios forestales, contaminación, auroras boreales, tormentas de arena y polvo, corrientes oceánicas, ceniza expulsada por volcanes, cambios en la vegetación, zonas nevadas, derrames de petróleo, temperatura del mar, el estado de la atmósfera, etc. (GOES, 1999).

Existen varios satélites meteorológicos en órbita, de los cuales, los que tienen un mayor desarrollo y aplicación son los de la Administración Nacional Oceánica y Atmosférica (NOAA) de los Estados Unidos de Norteamérica. La NOAA puso en órbita el primero de una serie de satélites en 1970, como continuación del programa TIROS iniciado en 1960. Estos satélites siguen órbitas polares a una altitud sobre la Tierra de entre 833 y 870 km (Reuter F, 2009), escaneando todo el planeta en veinticuatro horas.

Los satélites NOAA más modernos, están equipados con radiómetros AVHRR de alta resolución, los mismos que escanean en cinco canales. Gracias al escáner AVHRR se pueden crear mapas de la vegetación y de la formación de las nubes, así como medir la temperatura y la humedad de la atmósfera y de la Tierra. Además, disponen los sensores TOMS que miden la concentración de ozono, el Radiómetro Ultravioleta de retro dispersión solar (SBUV/2) y el sensor de Experimentos de Tasa de Radiación Terrestre (ERBE).

La transmisión de los satélites de la NOAA, en el modo analógico y de baja resolución (APT) (National Oceanic and Atmospheric Administration, 1999) (International Space Station, 2017), se compone de dos medias líneas, cada una con un contenido informativo diferente (canales A y B) y con su propia sincronización; 7 pulsos de 1040 Hz para el canal A y 7 pulsos de 832 Hz para el canal B. Las dos medias líneas corresponden a diferentes regiones del espectro. La frecuencia con la que se transmiten las líneas es de 120 por minuto.

Para el modo analógico en 137 MHz, se seleccionan 2 de los 5 canales. Por la noche las imágenes son transmitidas por el sensor 3 (infrarrojos semitérmico) y el sensor 4 (infrarrojos térmico). Durante el día y el crepúsculo, utilizan el sensor 2 (visible/casi infrarrojo) y el sensor 4 (infrarrojos térmico), se retransmiten disminuidos en resolución, uno a continuación del otro (a lo que se llama multiplexado en tiempo) (NOAA, 1999).

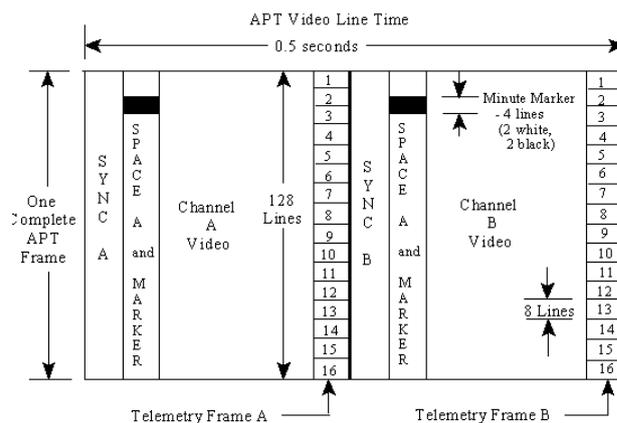
Este tipo de satélite tiene dos modos de envío de señales, uno de transmisión de imágenes en alta resolución (HRPT) a 1,7 GHz, y otro en APT de baja resolución a 137 MHz, denominado analógico (FM-FAX) (Reuter F, 2009).

Estas señales se emplean en el sintonizador satelital a describir, donde las imágenes están disminuidas en resolución y 1 pixel equivale a 4 km del área sensada (Reuter F, 2009, National Oceanic and Atmospheric Administration, 1999).

La idea consiste en transmitir una portadora de FM modulada por un tono (subportadora) de frecuencia constante (2.400 Hz) y con una desviación de +/- 17 KHz. Dicho tono está modulado en amplitud de acuerdo a una señal de video que reciben los radiómetros del satélite.

El hecho de que el nivel de modulación no llegue nunca a cero es muy conveniente para que el receptor distinga el negro de la inexistencia de portadora y con ello que el PLL (phase-locked loop) no pierda su enganche. También esto es conveniente para poder compensar el desplazamiento en frecuencia debido al efecto Doppler.

En la Figura 1 se puede ver la trama de datos enviada desde el satélite NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration, 2015), desde su módulo transmisor a tierra, donde se puede apreciar que dicha señal, en tiempos de 0.5 segundos, envía la información de los dos canales para ir formando la imagen, a la vez que incorpora también la telemetría dentro de la trama de datos transmitida.



WEDGE #1	WEDGE #2	WEDGE #3	WEDGE #4	WEDGE #5	WEDGE #6	WEDGE #7	WEDGE #8
1	2	3	4	5	6	7	8
Zero Modulation Reference	Thermistor Temp. #1	Thermistor Temp. #2	Thermistor Temp. #3	Thermistor Temp. #4	Patch Temp.	Back Scan	Channel I.D. Wedge
9	10	11	12	13	14	15	16

- Notes:
 1) Each telemetry frames consists of 16 points
 2) Telemetry frame rate is 1 frame per 34 seconds
 3) Each telemetry point is repeated on 8 successive APT video lines

Figura 1. APT Trama de datos del NOAA (NOAA 1998)

3. RECEPTOR DE IMÁGENES SATELITALES

La señal que envían los satélites meteorológicos NOAA tiene polarización circular. En el sistema desarrollado en el presente trabajo, esta señal es captada por una antena doble cross, diseñada para trabajar en resonancia a 137 MHz (Álvarez,

2012; Reed, 2002) (Figura 2), que es la frecuencia a la que los satélites NOAA envían las señales APT.

La antena debe estar montada a unos 2 metros del suelo y en un área libre de obstáculos como mínimo de 3 metros a la redonda, esto con el fin de evitar tener zonas de sombra de la señal enviada del satélite. Además la distancia al suelo garantiza que el plano de tierra esté bien definido.

Hay que tomar en cuenta que la señal que venga del zenit es veinte veces más potente que la que llega del horizonte (Álvarez, 2012; Reed, 2002), por lo que la antena no precisa estar colocada a una altura considerable del suelo, como la antena que se encuentra instalada en el Observatorio Astronómico de Quito (OAQ).



Figura 2. Fotografía de antena doble cross OAQ.

La señal recibida por la antena es guiada por un cable coaxial de 75Ω , e ingresa al sintonizador de TV analógica (sintonizador comercial de TV) por medio del conector de entrada tipo F, la antena tiene un acoplador de impedancia de 150Ω a 75Ω , para adaptar la señal al sintonizador de la TV.

En la Figura 3. se muestra el diagrama de bloques del receptor multibanda. La señal completa es recibida por la antena y mediante el sistema de control del tuner, con botones de selección, es posible elegir la frecuencia a sintonizar. Para el chequeo de las imágenes a satelitales se sintoniza a la frecuencia del NOAA a recibir.

La frecuencia sintonizada es desplegada en el módulo display LCD 2x16, indicando el valor de dicha frecuencia sintonizada (Flores G, IEPI-2015-47469).



Figura 3. Diagrama en bloques del Receptor de señales satelitales.

El sintonizador comercial utiliza el protocolo de comunicación I2C (Inter-Integrated Circuit) para su comando, funciona a una frecuencia de 100KHz, con un oscilador local de 4MHz (Philips Semiconductors. 2004), de acuerdo a las especificaciones del datasheet del elemento principal TDA6508 del tuner de TV que se emplea en este diseño.

El sintonizador fue modificado para trabajar exclusivamente bajo las órdenes de un microcontrolador ATmega8 a 8 MHz. Trabajando en el protocolo de I2C, por medio de las líneas SDA (Serial Data) y SCL (Serial Clock), el microcontrolador envía un total de cinco bytes de configuración. El uso que se les da a los bytes con el nombre asignado se muestra en la Tabla 1.

Tabla 1. Distribución de bits de datos para el control del sintonizador con en protocolo I2C

N° byte	Nombre	Función
1	Address Byte (ADB)	Dirección del dispositivo
2	Divider Byte 1 (DB1)	Byte 1 del divisor de frecuencia
3	Divider Byte 2 (DB2)	Byte 2 del divisor de frecuencia
4	Control Byte (CB)	Byte de control
5	Band switch Byte (CB)	Byte de cambio de banda

La salida de frecuencia intermedia del sintonizador comercial es de 45.75 MHz, lo que implica que la mínima frecuencia posible de sintonizar será esta.

Las frecuencias de sintonización serán múltiplos de 62.5 KHz (con un comparador de fase que opera a 3.90625 KHz), lo que corresponde al salto mínimo de frecuencia (step frequency) del sintonizador comercial.

Con esta información, el cálculo de la palabra DB que consta de 2 bytes DB1 y DB2, se realiza mediante la siguiente ecuación (1):

$$DB = \frac{f_{sintonización} + 45.75 \text{ MHz}}{62.5 \text{ KHz}} \quad (1)$$

DB debe ser convertido a una variable de tipo WORD, donde DB1 corresponde a los 8 bits más significativos y DB2 a los 8 bits menos significativos. La comunicación con el sintonizador cesará una vez que el microcontrolador haya enviado una señal de STOP, que es una orden interna dentro del protocolo I2C, mientras tanto, cualquiera de los 4 últimos bytes podrán ser modificados (DB1, DB2, CB, CB) para realizar cambios a la frecuencia que se desea sintonizar.

El dispositivo que hemos diseñado permite subir o bajar en el rango de frecuencias desde 45.75 MHz hasta 900MHz o con banda extendida hasta 1.3 GHz, esto gracias a dos botones

pulsantes que al accionarlos varían el valor de la frecuencia sintonizada en valores específicos pre-configurados, valores que son usados con fines educativos o de investigación, definidos de acuerdo a sistemas internacionales como el ITU y a ecuatorianos como el de ARCOTEL.

El sintonizador tiene un demodulador de audio en frecuencia (FM) en banda ancha, que permite entregar a su salida un audio monocanal cuando se ha sintonizado una señal FM, como el caso de los satélites NOAA. La señal de audio obtenida a la salida del sintonizador, es ingresada a la tarjeta de sonido de un computador por medio de un cable de audio. La conexión mencionada se muestra en la Figura 4.



Figura 4. Receptor Satelital de señales conectado a la tarjeta de audio del computador.

Para la visualización de las imágenes es necesario un software de decodificación de señales moduladas en FM-X25 (Protocolo X.25, 2005). En este proyecto se utilizó el software WXtoImg que es de uso libre y gratuito (WXtoimg Version 2.10.11, [software], 2010). Este software permite la grabación de la señal de audio en modo automático, para ello hay que actualizar los keplerianos en las opciones de actualización en línea que posee el software WXtoImg. Al actualizar esas opciones también se permite determinar el paso del próximo satélite visible con fecha y hora, de acuerdo a nuestra posición geográfica, la misma que también es configurable dentro de las opciones del programa.

Una vez instalado el WXtoImg y conectado el sintonizador a la entrada de audio de la tarjeta del computador y según lo esperado en las tablas de predicción, el satélite aparecerá sobre el horizonte. Se sintoniza su frecuencia de acuerdo a las características descritas para el satélite, escuchándose entonces un tintineo con sonidos característicos de múltiples silbidos, lo que corresponde a la emisión APT.

Hay que tomar en cuenta que la entrada de audio del computador no se puede configurar sin tener ningún audio a la salida del sintonizador, por lo que únicamente se lo podrá hacer cuando el satélite esté ya presente, guiándonos entonces con el nivel de la señal de entrada marcada con colores. Se procura calibrarlo en el nivel verde, que garantiza que no haya sobresaturación de señal, cuando esto sucede, se produce el cambio al nivel de rojo. Las señales débiles son imposibles de decodificar con el software.

El software WXtoImg, posee algunas opciones para enriquecer y mejorar las imágenes decodificadas; aplicando múltiples opciones de falso color, así como los diferentes filtros para vegetación, temperatura de agua, entre otros varios. Una mayor variedad de filtros y opciones de mejoramiento de imágenes están disponibles, así como herramientas para crear películas de cuadros sucesivos obtenidos en los distintos pasos del satélite, pero esas opciones adicionales requieren de la realización de un pago.

En la Figura 5 se muestra una imagen recibida con el sistema desarrollado.

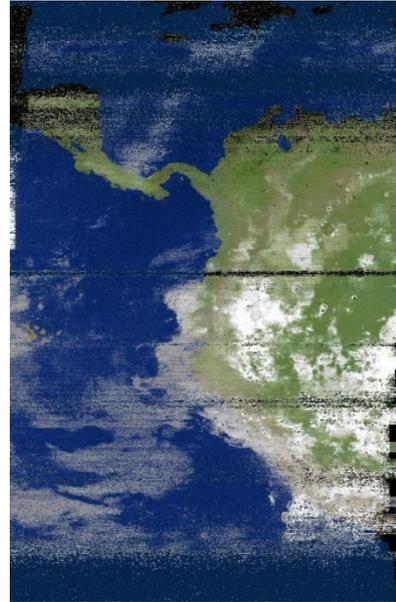


Figura 5. Ejemplo de imágenes recibidas en el OAQ desde el NOAA-1S

4 RECEPTOR DE SEÑALES SSTV

Otra de las aplicaciones de este sintonizador, es la recepción de señales de radioaficionados en las bandas de 140 MHz o 340 MHz, en donde las transmisiones se realizan en fonía o CW (-continuous wave-código Morse), y también la recepción de SSTV (televisión de barrido lento).

Habitualmente la Estación Espacial Internacional (ISS), hace uso de sus equipos para enviar imágenes conmemorativas de algún evento, o imágenes de la vida diaria de los astronautas dentro de la estación. Para ello emplea el modo de envío de imágenes de barrido lento (SSTV), transmisiones que son seguidas por la comunidad de radioaficionados, así como por instituciones educativas y científicas del planeta.

Al igual que en la decodificación de las imágenes del NOAA, se usa el sintonizador, configurado a la frecuencia de transmisión de la Estación Espacial Internacional (ISS), la misma antena doble cross que pese a estar sintonizada a 137 MHz, presenta una buena respuesta de frecuencia a los 145.8MHz que transmite la Estación Espacial Internacional, y conectado a la entrada de audio de la tarjeta del computador.

La señal recibida es un pitido constante y variante en el tiempo, el cual contiene la información codificada de la imagen a receptor. Se puede observar como la imagen va apareciendo línea a línea a medida que la señal se va

decodificando con el uso del software MMSSTV; que es uno de los varios software de uso libre que se puede emplear para tal decodificación, hasta obtener la imagen total.

En la Figura 6 se presenta una de las imágenes recibidas desde la Estación Espacial Internacional (ISS) a la frecuencia de 145.800 MHz durante su paso sobre el Ecuador, el 18 de diciembre de 2014. Para decodificar la imagen, que está codificada con el uso de técnicas de barrido lento con el código ROBOT 36, se utilizó el software de uso libre MMSSTV ver. 1.13 (MMSSTV, Ver 1.13A [software], 2010).

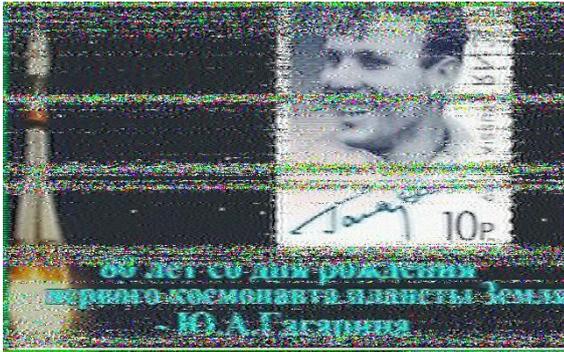


Figura 6. Imagen recibida desde la Estación Espacial Internacional y capturada con el receptor

5 CONCLUSIONES

En este proyecto se implementó un sintonizador de radiofrecuencia adaptado para investigación, que opera en el rango de 45,75 MHz a 1.3 GHz. Como se hace uso de un sintonizador comercial de TV, dicho elemento maneja el protocolo de comunicación estándar I2C, que se emplea para la comunicación entre el sistema de control diseñado y el sintonizador comercial de TV.

El presente trabajo permite darle una aplicación novedosa al sintonizador comercial de TV, logrando un sintonizador a muy bajo costo y de muy buenas características, comparable a los sintonizadores de radiofrecuencia comerciales, cuyos precios en el país, superan fácilmente los mil dólares.

Existe software de uso libre para decodificación de imágenes satelitales y SSTV que facilita la implementación de este tipo de sistemas.

El sintonizador presentado tiene un potencial uso en aplicaciones de radiofrecuencia comunes como: sintonización de señales de FM, TV-audio, radioafición, recepción de señales ADS-B (Automatic Dependent Surveillance – Broadcast) de posicionamiento de aviones, radiosonda, policiales, de aeronavegación, entre otras varias.

AGRADECIMIENTO

A la Escuela Politécnica Nacional y especialmente al Dr. Ericson López, Director del Observatorio Astronómico de Quito, por permitir que esta investigación se consolide.

REFERENCIAS

- CyTAL 2016 (2016). *Simulación De Colisiones De Mensajes ADS-B*. Universidad Tecnológica Nacional, Argentina. Obtenido de: <http://cytal.frvm.utn.edu.ar/q/7/64> (Enero 2017)
- Data Sheet, Philips Semiconductors. (2004), TDA6508; TDA6508A; TDA6509; TDA6509A.,USA.
- Flores Gary, Tituaña Luis, *Sistema De Recepción De Señales Radioeléctricas, Patente de invención*, Ecuador, Quito: IEPI-2015-47469
- GOES. (1999), Obtenido de: https://weather.msfc.nasa.gov/GOES/goes_es.html (Enero,2017)
- International Space Station. (2017), Obtenido de: https://www.nasa.gov/mission_pages/station/main/index.html (Enero,2017)
- MMSSTV (Ver 1.13A) [software].(2010) Obtenido de: <http://hamsoft.ca/pages/mmsstv.php>
- National Oceanic and Atmospheric Administration. (2015), Obtenido de: <http://www.noaa.gov> (Enero,2017)
- NOAA. (1999). APT Frame Format. 5 enero 2017, Obtenido de: http://webapp1.dlib.indiana.edu/virtual_disk_library/index.cgi/2790181/FID3711/klm/html/c4/sec4-2.htm#422-1
- Protocolo X.25. (2005), Lenguajes y Ciencias de la Computación, España: Universidad de Málaga.
- Radiosondas (2015). *El Radiosondeo : lanzamiento de una radiosonda*) Obtenido de: <http://www.radiosonde.eu/RS00-S/RS00-S.html> (Enero 2017)
- Reed J. (2002) Software Radio: A Modern Approach to Radio Engineering, USA: Prentice Hall.
- Reuter F. (2009). *Plataformas Orbitales y Sensores*. Santiago del Estero, Argentina: Facultad de Ciencias Forestales.
- WXtoimg (Version 2.10.11) [software].(2010) Obtenido de: <http://www.wxtoimg.com/>



Gary Fernando Flores Cadena Ingeniero en Electrónica y Telecomunicaciones de la Escuela Politécnica Nacional de Quito- Ecuador. Ha participado en varios concursos de innovación a nivel nacional donde ha quedado finalista con algunos de sus proyectos, posee una Patente de Invención, IEPI-2015-47469 del Sistema De Recepción De Señales Radioeléctricas y 5 patentes más con aplicaciones electrónicas. Actualmente trabaja en el Observatorio Astronómico de Quito en el departamento de electrónica como soporte a las investigaciones que allí se realizan.



Ericson Daniel López Ericson Doctor en Astrofísica (PhD) por la Academia de Ciencias de Rusia y Físico Teórico por la Escuela Politécnica Nacional. Ha realizado investigaciones post doctorales en Brasil y Estados Unidos. Es científico colaborador del Harvard-Smithsonian Center para la Astrofísica y profesor adjunto del Departamento de Astronomía de la Universidad de Sao Paulo. Ha realizado más de treinta publicaciones científicas y varias otras publicaciones relevantes. Es Director del Observatorio Astronómico

de Quito desde 1997 y miembro de la Academia de Ciencias del Ecuador. Es profesor principal de la Facultad de Ciencias de la EPN por más de 25 años, en la que imparte cursos formales de Física y Astrofísica.



Luis Rodrigo Tituaña Ingeniero en Electrónica y Control (Escuela Politécnica Nacional). Profesor de pregrado en el Departamento de Automatización y Control Industrial y en la Escuela de Formación de Tecnólogos. Ha participado en trabajos relacionados con Computación Genética, y en el área de Identificación y Control de Sistemas. Trabajó como analista técnico en el Observatorio Astronómico de Quito, en donde participó en el desarrollo del Reloj

Atómico de Cuarzo del OAQ-EPN. Además dirige pasantes y da soporte académico a estudiantes. Es participante independiente en concursos locales de robótica.



Pablo Lupera Morillo Obtuvo el título de ingeniero en Electrónica y Telecomunicaciones en la Escuela Politécnica Nacional en el año 2002 y el título de PhD. en ciencias técnicas en la Universidad Estatal de Telecomunicaciones de San Petersburgo en Rusia en el año 2009. Sus áreas de investigación son el comportamiento del canal inalámbrico, técnicas de transmisión aplicadas en la capa física y la planificación y optimización de redes de comunicación móvil.