

Sistemas de comunicación inalámbricos con tecnología MIMO

Silvina A. Grupalli, Miguel A. Cabrera, Jorge D. Bilbao y Martín G. Ferreyra

Dpto. de Electricidad, Electrónica y Computación. Facultad de Ciencias Exactas y Tecnología, Universidad Nacional de Tucumán, Tucumán, Argentina.

Resumen

El uso de dispositivos y sistemas de comunicación inalámbricos tanto fijos como móviles, ha ganado popularidad en los últimos años, de aquí surge la necesidad de mejorar y optimizar las tecnologías asociadas así como los servicios ofrecidos por los mismos. Un ejemplo de ello constituye la telefonía celular donde inicialmente el único servicio portador ofrecido era el de voz, posteriormente se añadió el servicio de texto SMS (*Short Message Service*) y de forma más reciente un conjunto de servicios multimedia que incluye la transmisión de imágenes, videos, internet, etc. La creciente demanda y el aumento de la tasa de transmisión que requieren dichos servicios han impulsado enormemente la investigación en este campo, proponiendo nuevas técnicas de transmisión que consiguen aumentar la tasa de transmisión sin comprometer ni la calidad de servicio ni el limitado ancho de banda disponible y por tanto aumentando la eficiencia espectral.

El interés reciente en los sistemas MIMO (Multiple Input Multiple Output) se basa en la perspectiva de una mejora de varios órdenes de magnitud en el desempeño de las comunicaciones inalámbricas sin el costo de utilización adicional del espectro. Esto motivó avances en áreas tan diversas como modelado de canal, teoría de la información y codificación, procesamiento de señales, diseño de antenas, etc.

En este trabajo se presentan los aspectos más importantes relacionados con los sistemas MIMO, las técnicas asociadas a esta tecnología como así también los beneficios que resultan de la implementación de las mismas.

Palabras clave: antena, ancho de banda, codificación, MIMO, señales.

Wireless communication systems with MIMO technology

Abstract

The use of communication devices and systems for both fixed and mobile wireless, have gained popularity in recent years, this raises the need to improve and optimize the associated technologies and services offered by them. One example is the cell phone where initially the only service offered was the carrier of voice, then added the SMS text service (Short Message Service) and more recently a set of multimedia services that include transmission of images, videos, internet, etc. Rising demand and increasing the rate of transmission that require such services have greatly boosted the research in this field by proposing new transmission techniques that manage to increase the transmission rate without compromising service quality or the limited bandwidth available and thereby increasing the spectral efficiency.

Recent interest in MIMO (Multiple Input Multiple Output) is based on the prospect of an improvement of several orders of magnitude in the performance of wireless communications without the cost of additional use of the spectrum. This led to advances in areas as diverse as modeling channel, information theory and coding, signal processing, antenna design, and so on.

This paper presents the most important aspects related to MIMO systems, the techniques associated with this technology as well as the benefits resulting from their implementation.

Key words: antenna, bandwidth, codification, MIMO, signals.

Introducción

La aparición de gran cantidad de nuevas aplicaciones de comunicación que utilizan sistemas inalámbricos que demandan crecientes tasas de transmisión, mayor calidad de servicio "QoS" (*Quality of Service*), etc., sobre un ancho de banda fijo, hace imprescindible la investigación de nuevas técnicas que permitan un aumento en la eficiencia espectral (y por consiguiente, en la capacidad de las redes inalámbricas que las implementan) respecto a las usadas anteriormente.

Numerosos estudios en sistemas de comunicación inalámbricos han mostrado que el uso de múltiples antenas, tanto en transmisión como en recepción, ofrece la posibilidad de comunicación inalámbrica a tasas de transmisión más altas en comparación con sistemas de antena única, **Foschini and Gans** (1988).

En este sentido las comunicaciones digitales que utilizan sistemas de entrada y salida múltiple, conocidos por sus siglas en inglés "MIMO" (Multiple Input Multiple Output), han surgido recientemente como uno de los avances tecnológicos más significativos en las comunicaciones modernas. Estos sistemas pueden definirse de manera simple: Dado un sistema de comunicación inalámbrico, consideramos un enlace para el que tanto el extremo de transmisión como el de recepción están equipados con múltiples antenas. La idea consiste en que las señales en las antenas de transmisión en un extremo y las de recepción en el otro se combinan de manera tal que para cada usuario aparecen dos alternativas:

La primera representa una mejora en la calidad de la comunicación, reduciendo el BER, del inglés Bit Error Rate. Utilizando el concepto de diversidad espacio-temporal se busca la robustez del canal de transmisión, se combate el desvanecimiento transmitiendo y recibiendo por varias antenas en forma redundante.

La segunda alternativa ofrece un aumento en la tasa de transferencia de datos a costa del BER. Así mediante técnicas de Multiplexado espacial, con el mismo ancho de banda se transmite/recibe más información ya que las diferentes antenas proporcionan distintos canales de propagación usados en paralelo, **Schmidt** (2008).

Cabe destacar que con la aplicación de los conceptos de diversidad y multiplexado se buscan objetivos distintos, con lo que pueden llegar a ser mutuamente excluyentes. Si bien en ambos casos el uso de varias antenas tanto en el transmisor como el receptor proporciona una serie de canales efectivos en paralelo, si el objetivo es diversidad se usan los canales para transmitir con redundancia y en multiplexación se usan para transmitir información diferente. La idea central en

los sistemas MIMO es el procesamiento de señales espacio-temporal, en el cual la variable tiempo es complementada con la dimensión espacial (inherente al uso de múltiples antenas distribuidas espacialmente). De esta manera, los sistemas MIMO pueden verse como una extensión de los sistemas de antenas inteligentes, en los que se utilizan arreglos de antenas para mejorar la transmisión inalámbrica, **Cardama Aznar** (2004). Una propiedad clave de los sistemas MIMO es la capacidad de explotar la propagación multicamino transformándola en un beneficio para el usuario. Estos sistemas toman ventaja de manera efectiva del desvanecimiento aleatorio y de la dispersión de retardos multicamino para multiplicar las tasas de transferencia. Se ha demostrado que la capacidad teórica de estos sistemas MIMO, crece linealmente para valores lo suficientemente altos de relación señal ruido (SNR), **Igualada Villodre** (2009).

El interés reciente en los sistemas MIMO y de codificación espacio-temporal se basa en la perspectiva de una mejora de varios órdenes de magnitud en el desempeño de las comunicaciones inalámbricas sin el costo de utilización adicional del espectro. Esto motivó avances en áreas tan diversas como modelado de canal, teoría de la información y codificación, procesamiento de señales, diseño de antenas, entre otras, **Schmidt** (2008).

En un entorno real, las ondas de radio procedentes de dispositivos móviles se propagan a través del medio libre y de obstáculos con diferentes características físicas que afectan la radio propagación. Las reflexiones y refracciones en distintos objetos hacen que las ondas recorran diferentes caminos hasta alcanzar el receptor. El movimiento de los objetos en el propio canal o el del receptor causan un desplazamiento aparentemente en la frecuencia portadora. Un sistema de comunicación fiable intenta obtener ventaja de estas perturbaciones del canal. A continuación se describen los factores más importantes que caracterizan a un canal inalámbrico.

Factores físicos que caracterizan a un canal inalámbrico

• Atenuación

La atenuación es la pérdida de potencia en la señal. Los factores responsables de la atenuación son de tipo geométrico, el medio en que se encuentra el enlace y de obstáculos en general.

La atenuación debida únicamente a la distancia, en el espacio libre, entre los extremos del enlace aumenta con la inversa del cuadrado de la distancia y además de esto aparece otro tipo de atenuación debida a los obstáculos de gran tamaño como edificios, montañas, etc. Se han propuesto algunos modelos geométricos

para explicar estas pérdidas a gran escala, pero es más habitual utilizar modelos estadísticos que describen de forma precisa entornos particulares. Por ejemplo, estadísticamente, se considera la atenuación como una variable aleatoria con una distribución conocida. Una expresión común para modelar la atenuación es:

$$P(d) = \bar{P}(d_0) + 10 n \log \frac{d}{d_0} + X_\sigma \quad (1)$$

Donde, X_σ es una variable gaussiana de media cero, en dB y desviación estándar σ , también en dB, que modela el efecto del desvanecimiento log-normal. Las pérdidas a una distancia arbitraria d se describen estadísticamente en relación a un punto de referencia d_0 , cuyas pérdidas vienen representadas por el término $\bar{P}(d_0)$, el exponente de pérdidas n y la desviación típica σ . El exponente n puede variar desde 1.6 (en interior y con visión directa) hasta 6 (en entorno urbano), **Igualada Villodre (2009)**.

• Propagación Multicamino

Las señales de radio que llegan al receptor tras recorrer caminos distintos lo hacen en distintos instantes y con fases aleatorias, así pueden combinarse, constructiva o destructivamente. El resultado inmediato es una fluctuación en la amplitud de la señal. Sin embargo, la atenuación media del enlace permanecerá constante. La cuantificación del fenómeno de la propagación multicamino en un canal se obtiene con el valor cuadrático medio de la dispersión del retardo (σ_{rms}). Tradicionalmente se dice que el canal ofrece una atenuación selectiva en frecuencia si este valor es superior al período de símbolo. En otros casos son más estrictos al considerar que esto se cumple cuando el producto ancho de banda B por el retardo τ de la propagación multicamino satisface la siguiente desigualdad:

$$\beta \cdot \tau \geq 0,1 \quad (2)$$

Así, el desvanecimiento multicamino ha sido tradicionalmente considerado uno de los mayores problemas a los que tienen que enfrentarse las transmisiones inalámbricas. Los sistemas MIMO explotan este fenómeno para convertirlo en una ventaja para el usuario, hasta el punto de que se comportarán mejor cuanto más dispersivo sea el canal, aumentando las velocidades de transmisión, **García Ariza (2004)**.

• Efecto Doppler

Cuando existe un movimiento relativo entre el transmisor y el receptor, éste percibe un cambio en la

frecuencia portadora. Este fenómeno se conoce como el *efecto Doppler*. El desplazamiento de frecuencia f_d depende de la velocidad relativa, la dirección del movimiento y la frecuencia de portadora:

$$f_d = \frac{v}{\lambda} \cos \theta \quad (3)$$

Siendo v la velocidad relativa, λ la longitud de onda de la portadora y θ el ángulo entre la dirección de movimiento y la de propagación de la onda.

• Desvanecimiento

Se conoce como desvanecimiento al efecto sobre la señal que producen la propagación multicamino y el desplazamiento Doppler, el que consiste en la variación rápida o a pequeña escala de la señal (en una pequeña distancia o intervalo de tiempo), siguiendo constante la atenuación a gran escala. El desvanecimiento puede ser selectivo en frecuencia o tener respuesta plana dependiendo de la estructura multicamino del canal, y puede ser lento o rápido en función del *desplazamiento Doppler*. El desvanecimiento selectivo en frecuencia es fuente común de errores en comunicaciones móviles debido a que produce interferencia entre símbolos “*ISI*” (*Inter Symbol Interference*). En la actualidad, en sistemas MIMO se lleva a cabo la aplicación de técnicas de modulación, como la Multiplexación por División de Frecuencias Ortogonales, “OFDM”, del inglés Orthogonal Frequency Division Multiplexing, que utilizan subcanales de pequeño ancho de banda, de forma que el desvanecimiento se puede considerar de respuesta plana en el espectro de frecuencia, **Coleri et al. (2002)**.

Modelos de desvanecimiento

Debido a las características aleatorias de los fenómenos de desvanecimiento del canal, es necesaria la aplicación de técnicas estadísticas para su modelado.

En canales móviles, la función de densidad de probabilidad Rayleigh es la más usada ya que describe la naturaleza estadística de la variación temporal de la envolvente recibida, como una contribución de señales individuales con distribución gaussiana. Otra distribución utilizada es la Rice, una combinación de distribuciones de Rayleigh y Gauss. Para el análisis de sistemas MIMO, el conocimiento de las distribuciones de probabilidad de las componentes multicamino son de vital importancia al realizar simulaciones bajo condiciones específicas de señal y canal, al igual que las consideraciones estadísticas de todos los fenómenos relacionados, **Saunders (1999)** y **Abdi et al. (2003)**.

El Canal Multiple-Input Multiple-Output (MIMO)

El término MIMO fue utilizado por primera vez por Jack Winters en 1987, **Winters** (1987) para referirse a dos tipos de sistemas:

- Los que implicaban una comunicación entre varios móviles y una estación base con varias antenas.
- La comunicación entre dos móviles equipados con varias antenas cada uno.

De forma más general, se pueden utilizar múltiples antenas en transmisión, en recepción o en ambos. A estas configuraciones nos referimos como MISO (Multiple Input Single Output) en el primer caso, SIMO (Single Input Multiple Output) en el segundo, y MIMO (Multiple Input Multiple Output). Utilizando esta denominación, los sistemas habituales con una única antena en cada extremo reciben el nombre de SISO (Single Input Single Output).

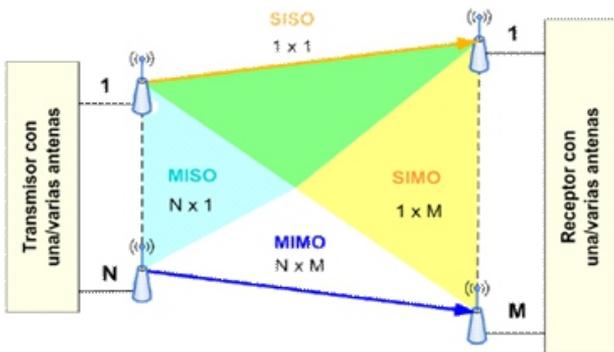


Fig.1 Las arquitecturas SIMO y MISO corresponden a esquemas de diversidad en recepción y transmisión, respectivamente.

Definición de Sistema MIMO. Técnicas asociadas y mejoras introducidas

Un sistema MIMO puede ser definido como aquel que incluye uno o varios enlaces inalámbricos en los que se usan dos o más antenas tanto en transmisión como en recepción.

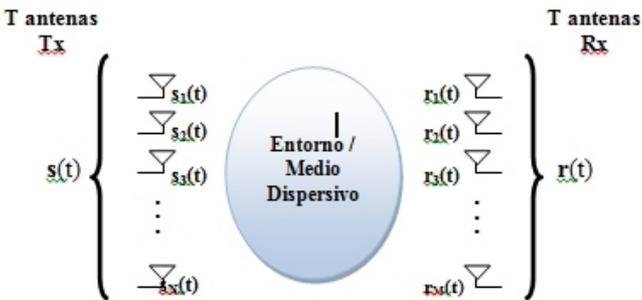


Fig. 2 Concepto MIMO

Diversos análisis teóricos y experimentales demuestran que el potencial aumento de la capacidad de transmisión de dichos sistemas es normalmente llevado a cabo mediante el uso de procesado espacio-tiempo.

Principio de Funcionamiento

Consideremos el siguiente esquema de sistema multi-antena, con N antenas en el transmisor y M antenas en el receptor:

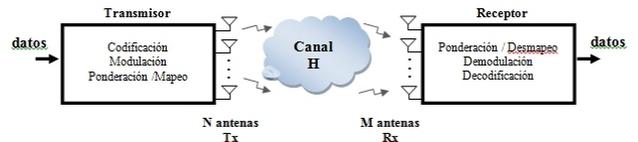


Fig. 3 Esquema general del sistema multi-antena N x M.

La información que se desea transmitir ingresa al bloque del transmisor como una cadena de datos. A partir de esta, el transmisor construye varias cadenas de símbolos separadas, que pueden ser independientes, parcialmente redundantes, o completamente redundantes. Luego, cada cadena de símbolos se mapea en una antena de transmisión distinta. Este mapeo puede incluir asignación de pesos a las antenas o precodificación espacio-temporal. El receptor captura estas señales (a través de múltiples antenas) y se realiza la demodulación y mapeo inverso para recuperar el mensaje transmitido. El nivel de inteligencia, complejidad, y conocimiento a priori del canal utilizados en la elección de los algoritmos de codificación y mapeo en las antenas puede variar sustancialmente, y esto determina el tipo y desempeño de la solución multi-antena implementada.

En el esquema presentado en la figura 3, donde se considera que existe una fuente emitiendo en campo lejano, la respuesta de un sistema de antenas a la onda producida por ésta (propagándose en espacio libre) puede ser representada por una matriz H de orden NxM. La matriz H es conocida como "firma espacial" de la fuente, **Sampath et al.** (2002).

En la práctica, la dispersión producida por diversos objetos dará como resultado la superposición de diversas contribuciones correspondientes a la dispersión individual de dichos objetos incidiendo desde varios ángulos y con distintos retardos. La firma espacio-temporal resultante mostrará, en general, desvanecimiento multicamino. Los distintos caminos recorridos por la señal hasta cada uno de los receptores harán que, en general, si éstos son considerados

independientes, podamos suponer con una alta probabilidad que al menos uno de ellos no se encontrará en un desvanecimiento en un momento dado, lo que podrá ser utilizado para conseguir una ganancia en la SNR y por lo tanto, en la eficiencia espectral con la que es posible utilizar el enlace, **Bölcskei et al.** (2006). Esta ganancia, conseguida mediante el empleo de varias antenas en transmisión y/o recepción, es conocida como ganancia por "diversidad espacial". En el caso de los sistemas MIMO, encontramos ganancia por diversidad espacial tanto en transmisión como en recepción.

Es importante tener en cuenta el aumento de capacidad conseguido gracias al ancho de banda "espacial" que estos sistemas proporcionan, permitiendo la "multiplexación espacial", cuyo principio estipula que múltiples flujos de datos independientes pueden ser enviados simultáneamente y en la misma banda de frecuencia sobre el canal MIMO y ser recuperados en el receptor, si se usa un procesado de señal adecuado, el llamado espacio-tiempo, **Paulraj et al.** (2003).

Modelos estandarizados

Varios modelos MIMO fueron estandarizados recientemente. Entre los ejemplos más destacados se encuentran los que se describen a continuación:

• Modelo estadístico de canal 3GPP/3GPP2 SMC (Statistical Model Channel)

El 3GPP/3GPP2 SMC (3GPP, 2003) fue desarrollado para evaluar los diferentes conceptos MIMO en entornos al aire libre en la frecuencia de 2 GHz con un ancho de banda de 5 MHz del sistema. Este modelo se divide en dos partes: la evaluación de nivel de enlace para la calibración y evaluación a nivel de sistema para las simulaciones. El modelo de calibración de nivel de enlace se puede implementar ya sea como un modelo físico o como un modelo analítico. El primero, es un modelo físico no geométrico estocástico, en él se describen las características del canal de banda ancha como una línea de retardo múltiple y todos los caminos se suponen independientes. Cada camino se caracteriza por sus propios parámetros espaciales de canal. Los parámetros son fijos, por lo tanto el modelo muestra condiciones estacionarias de canal. Este puede ser transformado en un modelo analítico equivalente que usa las configuraciones de antena definidas por el mismo, **Katz and Fitzek** (2009).

• Modelos de canal SUI e IEEE 802.16

El modelo de canal del estándar IEEE 802.16a está

basado en el modelo de canal SUI, **Erceg et al.** (2001), razón por la que comparten la mayoría de sus características. Las características comunes respecto de la célula radio de menos de 10 km, el ancho de banda de sistema de 2 a 20 MHz, la altura de la estación base (BS) que oscilaba entre 15 a 40 m y el uso de una antena fija de usuario final. Los modelos de canal pueden ser usados en el rango de 1 a 4 GHz. El concepto de MIMO y las características direccionales de la transmisión no se consideran en la norma, pero los estudios posteriores han tenido en cuenta estos elementos, **COST** (2008).

El modelo también incluye modelos de pérdida de camino diferentes e introduce un factor de disminución de la ganancia de la antena debido a un efecto de dispersión, **Katz and Fitzek** (2009).

Conclusiones

Se han analizado los aspectos más importantes relacionados con los sistemas MIMO y las técnicas asociadas a esta tecnología como así también los beneficios que resultan de la implementación de las mismas. Se muestra como en sistemas de comunicación inalámbricos el uso de múltiples antenas, tanto en transmisión como en recepción, ofrece la posibilidad de comunicación inalámbrica a tasas de transmisión más altas en comparación con sistemas de antena única. En este contexto el procesamiento de señales espacio-temporal, en el que la variable tiempo es complementada con la dimensión espacial, mejora el desempeño de los sistemas inalámbricos móviles, lo que permite aumentar la tasa de transmisión y de esta manera mejorar la eficiencia espectral.

Se han analizado de manera general los factores físicos que caracterizan a un canal inalámbrico, tales como la atenuación, efecto Doppler, desvanecimiento y una breve introducción a los modelos que lo describen. Para completar el panorama de utilización de sistemas MIMO se han presentado dos modelos estandarizados de uso muy difundido, el 3GPP y el IEEE 802.16a, a modo de ejemplo de un conjunto mucho más amplio.

El aumento día a día de dispositivos y sistemas de comunicación inalámbricos impone mejorar y optimizar las tecnologías asociadas así como los servicios ofrecidos por los mismos. Para lograr este objetivo es necesario continuar las investigaciones proponiendo nuevas técnicas de transmisión que permitan aumentar la tasa de transmisión sin comprometer ni la calidad de servicio ni el limitado ancho de banda disponible en una razón de compromiso con la contaminación electromagnética producida por estas tecnologías en constante crecimiento.

Referencias

3GPP 3rd Generation Partnership Project (2003) "Technical specification group radio access network; spatial channel model for MIMO simulations (release 6), 3GPP Technical Report 25996", V6.1.0.

Abdi, A., Lau, W. C., Alouini, M.S. and Kaveh, M. (2003) "A New Simple Model for Land Mobile Satellite Channels: First- and Second-Order Statistics", *IEEE Transactions On Wireless Communications*, Vol. 2, N° 3, pp. 519-528.

Bölcskei, H., Gesbert, D., Papadias, C. B. and VanDer Veen, A.-J. (2006) *Space-Time Wireless Systems. From Array Processing to MIMO Communications*, Cambridge University Press, Cambridge, Inglaterra.

Cardama Aznar, A. (2004). *Antenas*, Universitat Politècnica de Catalunya, Alfaomega, Madrid, España.

Coleri Sinem, Mustafa Ergen, Anuj Puri and Ahmad Bahai (2002) "Channel estimation techniques based on pilot arrangement in OFDM", *IEEE Transaction on Broadcasting*, Vol. 48, N° 3, pp. 223-229.

COST 273 (2008). En: <http://www.ftw.at/cost273>.

Erceg, V., Hari, K.V. S., Smith, M. S., Baum, D.S. et al. (2001) "Channel models for fixed wireless applications", *Contribution IEEE 802.16 3c-01/29r1*, pp. 1-22.

Foschini, G. J. and Gans, M. J. (1998) "On limits of wireless communications in a fading environment when using multiple antennas", *Wireless Personal Communications* 6 (3), pp. 311-335, Kluwer Academic Publishers, Netherlands.

García Ariza, A. P. (2004) "Sistemas MIMO Como Alternativa Para El Control del Efecto Multitrayectoria y de la Interferencia Co-Canal en Sistemas de Radio Móvil Satelital y Terrestre", *Revista S y T*, Universidad ICESI, Colombia.

Hemanth Sampath, Shilpa Talwar, Jose Tellado and Vinko Erceg, Arogyaswami Paulraj (2002) "A Fourth-Generation MIMO-OFDM Broadband Wireless System: Design, Performance, and Field Trial Results", *IEEE Communications Magazine*, pp. 143-149.

Igualada Villodre, M. P. (2009) Comparativa de

técnicas No Lineales de Igualación y Precodificación en Sistemas MIMO", Escuela Politécnica Superior, Departamento de Teoría de La Señal y Comunicaciones, Universidad Carlos III, Madrid, España.

Katz, M. D. and Fitzek, F. H. P. (2009) "Wimax Evolution: Emerging Technologies and Applications", J. Wiley Press, New York, E.E.U.U, pp. 367-370.

Paulraj, A., Nabar, R. and Gore, D. (2003) "Introduction to Space-Time Wireless Communications". Cambridge University Press, Cambridge, Inglaterra.

Saunders, S. R. (1999) "Antennas and propagation for wireless communication systems", West Sussex: John Wiley & Sons.

Schmidt, C. A. (2008) "MIMO Space-Time coded systems. Presentation for a course in Signal Processing", Wiley, Bahia Blanca, Argentina.

Shanon, C. E. (1948) "A Mathematical Theory of Communication Bell Sys." *Tech. Journal*, Vol. 27, pp. 379-423.

Winters, J. (1987) "Optimum Combining for Indoor Radio Systems with Multiple Users" *IEEE Trans. On Communications*.

Agradecimientos

Este trabajo ha sido subsidiado en parte por el Proyecto 26/E408, CIUNT, UNT. Los autores agradecen a los árbitros anónimos que colaboraron para evaluar y mejorar la calidad de este trabajo.

Este trabajo fue realizado en el Laboratorio de Telecomunicaciones perteneciente al Departamento de Electricidad, Electrónica y Computación de la Facultad de Ciencias Exactas y Tecnología de la Universidad Nacional de Tucumán, durante el año 2011. Se presentan aquí resultados preliminares y un panorama del estado de arte sobre el que los autores se encuentran trabajando.



Silvina Alejandra Grupalli

Ing. en Computación egresada de la Universidad Nacional de Tucumán. Realiza estudios de Posgrado en la Facultad de Ciencias Exactas y Tecnología (FACET) de la Universidad Nacional de Tucumán, orientados a la obtención del Título de Dr. en Ciencias Exactas e Ingeniería. Desempeña sus tareas Profesional en el Laboratorio de Instrumentación de la FACET. Responsable de las áreas: Calidad e Informática del Laboratorio de Instrumentación Industrial. Es integrante de un proyecto de investigación ante el CIUNT. Realiza trabajos de investigación en el área de las Telecomunicaciones.

Miguel A. Cabrera

Ing. Electricista (OE), egresado en 1986 de la Facultad de Ciencias Exactas y Tecnología (FACET) - UNT, obtuvo el título de Dr. en Física de la Atmósfera (UNT, 2003). Actualmente se desempeña como Profesor Adjunto de Electromagnetismo I y II y de Electrónica Industrial, ambas materias dependientes del Dpto. de Electricidad, Electrónica y Computación (FACET-UNT). Dirige un Proyecto de investigación financiado por el CIUNT (UNT) en el área de la alta atmósfera terrestre vinculado a Telecomunicaciones y Sensado Remoto por Ondas de Radio y es investigador integrante de proyectos financiados por el CONICET y por el MINCYT. Ha publicado trabajos de investigación en revistas internacionales de la especialidad y ha dictado conferencias nacionales e internacionales. Ha sido Investigador visitante en importantes centros de investigación, nacionales y del exterior, como: ICTP (Trieste), INGV (Roma), CASLEO (San Juan), Arecibo National Observatory (Puerto Rico), Dpto. de Ciencias Físicas de la Universidad Complutense de Madrid (España) y el Instituto de Geofísica y Astronomía de Cuba. En el año 2009, fue designado por Ministerio de Relaciones Exteriores y Culto de la República Argentina, para asesorar al IGA - Cuba sobre desarrollo de radares para alta atmósfera terrestre.

Jorge D. Bilbao

Ingeniero Electricista (OE), egresado en 1968 de la Universidad Nacional de Tucumán, luego en la University of Essex (UK) en el año 1972 obtiene el Grado Académico de Master of Sciences con mención en Telecommunication Systems. Actualmente se desempeña como Profesor Titular con dedicación exclusiva en la Asignatura de Señales Eléctricas, Sistemas de Comunicaciones y Electrónica de Comunicaciones I, en la FACET-UNT, ha sido Director de varios Proyectos de Investigación, en áreas de Análisis de Señales, Sistemas de Telecomunicaciones, Sis-

temas de Transmisión, Radiopropagación, Electrónica de radiofrecuencias y ha publicado artículos de la especialidad en revistas nacionales e internacionales.

Martín Guido Ferreyra

Ing. Electrónico egresado de la Universidad Nacional de Tucumán. Docente del Laboratorio de Física Experimental de la FACET-UNT. Realizó cursos de perfeccionamiento en el Abdus Salam International Centre for Theoretical Physics, en Trieste Italia. Formó parte de diversos proyectos de investigación en el Dpto. de Luminotecnia Luz y Visión y actualmente integra el Proyecto "Estudio y Modelado de Magnitudes Ionosféricas para Sistemas de Comunicaciones y Navegación Satelital", subsidiado por el CIUNT-UNT. Ha publicado trabajos científicos en revistas y congresos de la especialidad.

**XXVI REUNIÓN CIENTÍFICA
DE LA ASOCIACIÓN ARGENTINA
DE GEOFÍSICOS Y GEODESTAS**

TALLER INTERNACIONAL
LA GEOMÁTICA EN LAS CIENCIAS DE LA TIERRA

5 al 9 de Noviembre
aagg 2012
San Miguel de Tucumán | Argentina
www.aaggreunion.org

Organizadores: Facet, IANIGLA, CONICET, U.N. CUYO GOBIERNO DE MENDOZA, GOBIERNO DE SAN JUAN

Patrocinadores: RUNCO, CONAE, FAL, OHO STATE, IGN, idearn