

DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA
ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIEROS DE
TELECOMUNICACIÓN



TESIS DOCTORAL

CONTRIBUCIONES AL DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN
SISTEMA DE ALTA RESOLUCIÓN PARA TOMOGRAFÍA POR
EMISIÓN

Autor:
Pedro Guerra Gutiérrez
Ingeniero de Telecomunicación.

Director:
Andrés Santos Lleó
Doctor Ingeniero de Telecomunicación

2007



(D-15)

Tribunal nombrado por el Magfco. Y Excmo. Sr. Rector de la Universidad
Politécnica de Madrid, el día _____ de _____ de 200

Presidente: J. CANTORAL
Secretario: M^o JESÚS LEDESMA CORBAJO
Vocal: Dr. DIMITRA BARAMBARA
Vocal: Magdalena Rafecas López
Vocal: Magdalena Rafecas López
Suplente: _____
Suplente: _____

Realizado el acto de defensa y lectura de Tesis el día 23 de Noviembre de 2007
en la E.T.S. de Ingenieros de Telecomunicación

Calificación: CUM LAUDE PER UNANIMIDAD

EL PRESIDENTE

EL SECRETARIO

LOS VOCALES

M. Rebe

Resumen

La tomografía por emisión combina biología, física y computación para dar lugar a imágenes del organismo que en última instancia se relacionan con el comportamiento celular, habiendo demostrado ser una técnica de gran interés en oncología, neurología y radiología, tanto en investigación como en rutina clínica. La técnica se fundamenta en la detección de la radiación gamma generada por un radiofármaco que previamente se ha inyectado al paciente, para lo cual el equipo de tomografía dispone un conjunto de detectores de radiación gamma en torno al objeto bajo estudio, generalmente configurando un anillo. Estos detectores constan por una parte de un material denso destinado interaccionar con los rayos gamma y de una electrónica anexa capaz de detectar y caracterizar las señales resultantes de estas interacciones.

En la actualidad una parte significativa de la investigación con mamíferos hace uso de ratones, los cuales han demostrado ser una excelente plataforma para el estudio multitud de enfermedades humanas. Este hecho explica el desarrollo y comercialización de multitud de equipos para tomografía por emisión específicamente diseñados para estudios con animales.

La presente tesis doctoral tiene por objetivo explorar una nueva aproximación para la electrónica de cabecera de un sistema de tomografía por emisión de positrones para pequeños animales, que incorpore las técnicas digitales en lo que a detección y caracterización del pulso de centello se refiere.

En primer lugar se desarrolla una metodología para la validación funcional de la electrónica a diseñar. La aproximación escogida analiza en detalle todo el proceso de adquisición, desde la interacción del rayo gamma con el cristal de centelleo hasta su digitalización, con el fin de modelar los estímulos que sirven de entrada al sistema electrónico.

En segundo lugar, se analizan las distintas técnicas digitales para la caracterización del pulso, prestando especial incapié a las alternativas para la temporización del pulso de centelleo. Tras una comparación de cuatro métodos posibles se determinan las condiciones óptimas para extraer una marca temporal del pulso con una resolución próxima al nanosegundo.

En tercer lugar, se implementa y caracteriza un prototipo del módulo de adquisición que incluye las técnicas digitales anteriores como parte de un sistema empotrado más complejo basada en lógica programable. Finalmente, se emplean los resultados anteriores para estimar mediante simulación las prestaciones de un equipo híbrido que hiciera uso de la electrónica desarrollada

Índice de Contenidos

<i>Capítulo I: Introducción y Objetivos</i>	1
1.1. Introducción.....	3
1.2. Hipótesis.....	5
1.3. Objetivos.....	5
1.4. Estructura del documento.....	6
<i>Chapter I: Summary and Aims</i>	9
1.1. Introduction.....	11
1.2. Hypothesis.....	13
1.3. Aims.....	13
1.4. Document Structure.....	13
<i>Capítulo II: Fundamentos en PET</i>	15
2.1. Fundamentos en Física Nuclear.....	17
2.2. Radionúclidos y Producción de Radiofármacos.....	25
2.3. Principios de Detección en PET.....	28
2.4. Fundamentos en Reconstrucción.....	29
<i>Capítulo III: Estado de la Cuestión</i>	33
3.1. Revisión histórica.....	35
3.2. Estado actual de la PET para pequeños animales.....	40
3.3. Futuro de la tecnología en PET con pequeños animales.....	53
3.4. Conclusiones.....	54
<i>Capítulo IV: Modelado del Tomógrafo</i>	55
4.1. Introducción.....	57
4.2. Modelo Analítico del Detector.....	57
4.3. Modelo Analítico del Sistema.....	70
4.4. Modelo de Simulación del Sistema.....	74
4.5. Conclusiones.....	77
<i>Capítulo V: Algoritmos de Detección</i>	79
5.1. Introducción.....	81
5.2. Estimación de la energía.....	82
5.3. Estimación de la posición.....	84
5.4. Estimación del tiempo.....	85

5.5. Discriminación entre cristales	94
5.6. Conclusiones.....	96
<i>Capítulo VI: Propuesta para la electrónica de adquisición.....</i>	<i>97</i>
6.1. Introducción.....	99
6.2. Descripción del sistema	100
6.3. Realización de un sistema empotrado para la electrónica de detección	104
6.4. Entorno de cosimulación para la validación de la electrónica.....	118
6.5. Realización de un prototipo de la electrónica de adquisición	120
6.6. Conclusiones.....	129
<i>Capítulo VII: Resultados</i>	<i>131</i>
7.1. Modelado de la electrónica de cabecera	133
7.2. Modelado analítico del tomógrafo.....	138
7.3. Generación de la etiqueta temporal	141
7.4. Evaluación del prototipo desarrollado.....	147
7.5. Estimación de prestaciones para un escáner híbrido PET/SPECT	154
<i>Capítulo VIII: Conclusiones y trabajos futuros.....</i>	<i>163</i>
8.1. Conclusiones.....	165
8.2. Trabajos futuros	167
<i>Chapter VIII: Conclusions and future work.....</i>	<i>169</i>
8.1. Conclusions	171
8.2. Future work	173
<i>Capítulo IX: Publicaciones derivadas de esta tesis doctoral</i>	<i>175</i>
9.1. Artículos en Revistas Relacionados con la Tesis	177
9.2. Patentes Solicitadas	177
9.3. Comunicaciones en Congresos Relacionadas con la Tesis	178
9.4. Otras Comunicaciones en Congresos y Artículos en Revistas	179
<i>Referencias</i>	<i>181</i>