

Resumen

En esta tesis se propone un nuevo sistema sensorial para ambientes externos que está basado en el uso de sensores ultrasónicos y que es susceptible de ser empleado en aplicaciones de distinta naturaleza, tales como la detección de obstáculos o el posicionamiento local de objetos. Este sistema puede operar de manera fiable en condiciones meteorológicas adversas gracias a una codificación eficiente de la señal ultrasónica que al mismo tiempo le confiere una elevada inmunidad al ruido, la capacidad de discriminar hasta cuatro emisiones realizadas simultáneamente y, además, una precisión submilimétrica en la medida de distancias equivalente a la obtenida por los sistemas s3nar m3s evolucionados de la rob3tica m3vil.

La propuesta de un nuevo esquema de codificaci3n, adecuado a las exigencias que impone el uso de se3ales ultras3nicas en el exterior, se fundamenta en un profundo an3lisis de los distintos mecanismos que afectan de manera determinante a la propagaci3n de este tipo de ondas. Este an3lisis permite identificar al fen3meno de las turbulencias como el m3s problem3tico a la hora de transmitir se3ales ultras3nicas codificadas en el exterior, motivando as3 un estudio te3rico detallado de este mecanismo. Como resultado de este estudio, se caracteriza el comportamiento de una atm3sfera turbulenta a trav3s de un tiempo de coherencia que impone un l3mite superior para la duraci3n de las emisiones codificadas. La dependencia te3rica de este tiempo con la intensidad de las turbulencias y con la velocidad del viento es corroborada experimentalmente. A partir de un an3lisis detallado de los datos obtenidos se propone un modelo emp3rico para una atm3sfera turbulenta que reproduce con exactitud la dispersi3n espectral observada para una portadora ultras3nica.

Una vez caracterizada la propagaci3n de las ondas ultras3nicas en el exterior, se presenta el nuevo esquema de codificaci3n basado en el uso de conjuntos de cuatro secuencias complementarias. Este esquema tiene su origen en el desarrollo de un novedoso algoritmo de generaci3n de este tipo de secuencias que permite obtener de una forma muy sencilla cuatro conjuntos de cuatro secuencias mutuamente ortogonales entre s3. Adem3s, lo que es m3s importante, es posible dise3ar a partir de 3l un sistema de correlaci3n eficiente que reduce considerablemente el n3mero total de operaciones necesarias para llevar a cabo la detecci3n de estas secuencias.

Se acomete a continuaci3n el dise3o del sistema sensorial ultras3nico comenzando por la propuesta de un esquema de modulaci3n en fase que hace posible la emisi3n de las

señales codificadas a través del estrecho ancho de banda de los transductores ultrasónicos. El desarrollo del módulo de detección de este tipo de señales va acompañado de la propuesta de un conjunto de algoritmos de proceso de la señal que permiten compensar los efectos negativos derivados de la demodulación incoherente.

Finalmente, todos los algoritmos de proceso de la señal ultrasónica son optimizados e implementados sobre una arquitectura configurable que hace posible la operación del sistema en tiempo real. Un conjunto de pruebas experimentales permiten tanto comprobar que el comportamiento del sistema en el exterior es el esperado como determinar las características del mismo que se derivan de las excelentes propiedades de correlación mostradas por los conjuntos de secuencias complementarias.

Abstract

In this thesis a new sensory system for outdoor environments is proposed. This system is based on the use of ultrasonic sensors and can be employed for different applications, such as obstacle detection and local positioning. It can reliably operate under adverse meteorological conditions by virtue of an efficient signal coding which, at the same time, provides the system with a high robustness to noise and the possibility of discriminating up to four simultaneous emissions. Moreover, a submillimetric precision in distance measurements is achieved, similar to that of the most advanced sonars in mobile robotics.

The proposal of the new coding scheme, which must be consistent with the constraints inherent in the use of ultrasonic signals outdoors, is based on a thorough analysis of the different mechanisms involved in the propagation of this kind of waves. This analysis allows the identification of atmospheric turbulence as the most problematic phenomenon when transmitting encoded ultrasonic signals outdoors, thus motivating a detailed theoretical study of this phenomenon. As a result of this study, the behaviour of a turbulent atmosphere is characterised through a coherence time which imposes an upper limit to the duration of the encoded emissions. The theoretical dependence of this time on turbulence intensity and wind velocity is experimentally corroborated. From a detailed analysis of the acquired data, an empirical model for a turbulent atmosphere is proposed, which accurately reproduces the spectral spreading observed for an ultrasonic carrier.

Once the outdoor propagation of ultrasonic waves has been characterized, a new coding scheme based on the use of complementary sets of sequences is presented. This scheme has its origin in the development of a novel algorithm that easily generates four mutually orthogonal sets of sequences. Furthermore, an efficient correlator can be designed for the sequences generated with this algorithm, which notably decreases the total number of operations necessary to carry out the detection of these sequences.

Next, the architecture of the sensory system is presented, starting with the proposal of a phase modulation scheme in order to efficiently emit the energy of the encoded signals through the limited bandwidth of the transducers. The design of the detection module is carried out with the development of a set of processing algorithms that ameliorate the negative effects caused by the incoherent demodulation.

Finally, all the signal processing algorithms are optimised and implemented on a con-

figurable architecture that makes possible the real time operation of the system. A set of experimental tests is presented with a double objective: first to verify the proper performance of the system outdoors, and second to determine all its features derived from the excellent correlation properties that characterise complementary sets of sequences.