



SAPIENZA
UNIVERSITÀ DI ROMA

FACULTY OF INFORMATION ENGINEERING, INFORMATICS AND STATISTICS

MASTER DEGREE IN ELECTRONIC ENGINEERING

Master Thesis

Optimization of data transmission at Ka band and beyond by microwave radiometric techniques for telecommunication and deep space missions

Candidate

Luca Milani

Advisor

Prof. Frank Silvio Marzano

Co-advisors

Dr. Vinia Mattioli, EUMETSAT

Dr. Marco Lanucara, ESA-ESOC

ACADEMIC YEAR 2014-2015



SAPIENZA
UNIVERSITÀ DI ROMA

FACOLTÀ DI INGEGNERIA DELL'INFORMAZIONE, INFORMATICA E STATISTICA

CORSO DI LAUREA MAGISTRALE IN INGEGNERIA ELETTRONICA

Tesi di Laurea Magistrale

**Uso di tecniche radiometriche a microonde per l'ottimizzazione della
trasmissione dei dati per telecomunicazioni e missioni di spazio
profondo in banda Ka e oltre**

Candidato

Luca Milani

Relatore

Prof. Frank Silvio Marzano

Correlatori

Dr. Vinia Mattioli, EUMETSAT

Dr. Marco Lanucara, ESA-ESOC

ANNO ACCADEMICO 2014-2015

Alla mia famiglia

Abstract

The number of deep space explorations of solar system is rapidly increasing, together with a continuous demanding of higher performances in telecommunication uplink and downlink to satisfy specific mission requirements. In this sense, the use of higher frequency bands, with respect to the ones currently in use, is becoming a need. These bands offer several performance advantages, provided by larger available bandwidth and higher gain for the same antenna size. This thesis aims at investigating higher frequency bands through the use of radiometric techniques. The first topic regards Sun-tracking microwave radiometry, a ground-based technique where the Sun is used as a beacon source. The atmospheric antenna noise temperature is measured by alternately pointing toward-the-Sun and off-the-Sun according to a beam switching strategy. By properly developing an *ad hoc* processing algorithm, we can estimate the atmospheric path attenuation in all-weather conditions together with the Sun brightness temperature. A theoretical framework is proposed to describe the Sun-tracking radiometric measurements and to evaluate the overall error budget with respect to uncertainties due to actual antenna patterns, knowledge of Sun brightness temperature, and the beam-filling factor. Two different techniques, based respectively on elevation-scanning Langley method and on surface meteorological data method, are proposed and compared to estimate the clear-air reference. Application to available Sun-tracking radiometric measurements at Ka, V and W band in Rome (NY, USA) is shown and discussed together with the test of new physically-based prediction models for all-weather path attenuation estimation at Ka, V and W band from multi-channel microwave radiometric data. Results show an appealing potential of this overall approach in order to overcome the difficulties to perform satellite-to-Earth radiopropagation experiments in the unexplored millimeter-wave and submillimeter-wave frequency region. The second part presents a real operational project applied to BepiColombo, the ESA cornerstone mission to Mercury, which adopts a Ka-band transmission system operationally for the downlink at 32 GHz. The work was carried out during a traineeship in the ground station systems engineering division of the European Space Operations Centre (European Space Agency ESOC, Darmstadt, Germany). In particular, a Simplified Radiative Model (SRM) is shown, exploiting the radiometer and weather station dataset available in Cebreros (Spain): surface parameters (such as the rain rate, temperature, pressure and humidity) can be converted into path attenuation along a selected upward direction making several assumptions on the vertical stratification of rain and other atmospheric constituents. A cloud module is also presented, able to detect cloud coverage and to correct a-posteriori the attenuation time series provided by SRM.

Sommario (in Italian)

Il numero di esplorazioni di spazio profondo del sistema solare è in rapida crescita, insieme ad una continua esigenza di prestazioni più elevate nei sistemi di telecomunicazioni per soddisfare requisiti specifici, sia in uplink che in downlink. In questo senso, l'utilizzo di bande a frequenze più alte, rispetto a quelle attualmente in uso, sta diventando una necessità. Queste bande offrono diversi vantaggi prestazionali, tra i quali una maggiore larghezza di banda disponibile e un maggiore guadagno a parità di dimensioni dell'antenna. La presente tesi mira a studiare tali bande di frequenza attraverso l'uso di tecniche radiometriche. Il primo tema riguarda una tecnica radiometrica da terra che sfrutta il sole come sorgente radiativa. La temperatura di rumore di antenna è misurata prima con il contributo del sole e successivamente senza lo stesso. Sviluppando un algoritmo di elaborazione ad hoc, possiamo stimare sia l'attenuazione atmosferica per ogni condizione meteorologica, sia la temperatura di brillantezza del sole. Inizialmente, viene presentata una descrizione della tecnica radiometrica di Sun-tracking, insieme ad una valutazione complessiva degli errori rispetto a varie fonti di incertezza. Successivamente, vengono proposte due diverse tecniche per stimare la temperatura di brillantezza del sole, basate rispettivamente su una scansione in elevazione (metodo Langley) e sull'utilizzo di misure superficiali (metodo meteorologico), con annesso confronto in situazioni di aria chiara. Un esempio di applicazione viene mostrato su delle misure radiometriche in bande Ka, V e W effettuate a Rome (NY, USA). I risultati sono discussi insieme alla validazione di nuovi modelli fisici di previsione dell'attenuazione di percorso alle stesse bande di frequenza. I suddetti modelli sono caratterizzati da una forma parametrica che sfrutta dati radiometrici multicanale e sono in grado di fornire una stima per ogni condizione meteorologica. L'approccio proposto evidenzia un potenziale molto interessante, soprattutto in relazione alle difficoltà nel condurre esperimenti di radiopropagazione tramite canali terra-satellite nelle regioni di frequenza inesplorate delle onde millimetriche e sotto-millimetriche. La seconda parte della presente tesi espone un vero e proprio progetto operativo applicato a BepiColombo, la prima missione ESA (Agenzia Spaziale Europea) volta a studiare il pianeta Mercurio, che adotta un sistema di trasmissione in banda Ka per il downlink a 32 GHz. Il lavoro è stato eseguito durante un periodo di tirocinio nella divisione di sistemi di terra del Centro operativo spaziale europeo (ESA-ESOC, Darmstadt, Germania). In particolare, è stato sviluppato un modello radiativo semplificato, sfruttando il set di dati proveniente da un sistema radiometrico e da una stazione meteorologica presente a Cebreros (Spagna). Parametri di superficie (come ad esempio il tasso di pioggia, la temperatura, la pressione e l'umidità) possono essere convertiti in un valore di attenuazione di percorso, facendo diverse ipotesi sulla stratificazione verticale dell'atmosfera. Infine, un modulo viene presentato più nel dettaglio, in grado di rilevare copertura nuvolosa e di correggere a posteriori la serie temporale di attenuazione fornita dal modello semplificato.