

7 Conclusões

Na primeira parte desta tese, após a apresentação do modelamento do problema de marcação d'água digital, e a introdução de uma peculiar discussão à cerca da “conservação” da capacidade neste problema, foi proposto um novo limitante inferior para técnicas binárias de marcação d'água digital, fundamentado em uma simples equivalência com um sistema de comunicação binário, considerando um modelo com ataque aditivo gaussiano. Quando comparado com outros resultados, observou-se que o limitante inferior proposto é mais preciso e geral. A importância do conhecimento deste limitante é permitir a otimização de sistemas codificados, objetivando operação próximo à capacidade. Ainda, novas técnicas de marcação digital, M -ária unidimensional e multidimensional, do tipo Espalhamento Espectral foram introduzidas, incluindo variações que melhoram significativamente o correspondente desempenho. O desempenho destas técnicas foram derivados, e também foram propostos os limitantes inferiores de desempenho destas classes de técnicas.

A segunda parte desta tese introduziu uma nova metodologia para o projeto e análise de sistemas de marcação d'água digital que, sob o ponto de vista da teoria da informação, incorporou a fragilidade e a robustez. A metodologia proposta foi desenvolvida com foco no comportamento da curva de desempenho (probabilidade de erro na detecção versus razão marca d'água-ruído) em sistemas codificados, e considerou não somente o ganho de codificação, mas também a robustez e a fragilidade do sistema. Este novo conceito introduz a necessidade de revisar o projeto de sistemas codificados de marcação digital para incorporar também os requisitos de robustez e/ou de fragilidade. Neste contexto, o código turbo atendeu de imediato aos requisitos para construção de um sistema de marcação d'água digital robusto, e um sistema frágil pôde também ser implementado através da introdução de um esquema de polarização. Este novo esquema de polarização, com o emprego da codificação turbo, também permitiu a

implementação de técnicas semi-frágeis e híbridas, alcançando a robustez e a fragilidade do sistema com apenas uma marcação d'água. Os resultados de uma implementada simulação experimental apoiaram a metodologia proposta e possibilitou o aprofundamento da discussão do esquema de polarização em sistemas de marcação d'água digital. Em particular, o artifício de sintonia da polarização para estimativa do ataque, e ampliação da correspondente faixa dinâmica, introduziu muita flexibilidade no emprego do proposto esquema.

7.1

Sugestões para trabalhos futuros

Como continuação natural do desenvolvimento da primeira parte desta tese, a investigação futura de outras técnicas de marcação, possuindo constelações de sinais com equivalência de detecção a conhecidos modelos de modulação/demodulação em sistemas de comunicação, é de interesse. Ainda, a facilidade em operar com dimensões maiores no problema de marcação d'água, possibilita otimizar as técnicas tradicionais bidimensional usualmente empregadas em sistemas de comunicação. Por exemplo, caso venhamos a operar com três dimensões, e com uma técnica quaternária (quatro símbolos), a constelação de sinais formando um tetraedro fornece um desempenho superior a constelação quadrática no plano bidimensional (QPSK).

Quanto à segunda parte deste trabalho, fica aberto um largo campo para desenvolvimento de pesquisas teóricas e práticas, tanto nos aspectos relativos ao emprego do proposto modelamento e à influência da codificação na fragilidade e na robustez, quanto na diversidade de aplicações do esquema de polarização e do correspondente artifício de sintonia da polarização. Ainda, vale relembrar a possibilidade de empregar o esquema de polarização em outros cenários, conforme sugerido nos comentários do Capítulo 6, como em sensores, *covert communications*, identificação de *jamming*, e caracterização de canais.