

# **Cognitive Radio Networks: Efficient Solutions for Routing, Topology Control, Data Transport, and Network Management**

## **(STO-TR-IST-140)**

### **Executive Summary**

One of the most important aspects in today's military missions and operations is information superiority. Gathered information shall be available at the right place at the right time in all situations. For its distribution, communication networks are used. Consequently, there is a requirement for adaptability of such networks to all possible situations, which may lead to a certain complexity. Despite this complexity, they shall be robust, reliable, efficient, and easy to handle.

This report proposes solutions for radio networks to achieve these goals. These solutions are based on the idea that upcoming radio networks will be able to monitor their internal states as well as external influences, like changes in the spectral environment, and to react on them autonomously. The process to observe, to take decisions based on these observations, and to learn from the decisions is termed cognition. Therefore, networks that will have this capability are "Cognitive Radio Networks".

Cognitive Radios, which will have the ability to observe the spectral environment and to accordingly adapt their transmission frequency usage on link basis, have already been addressed in the groups "Cognitive Radio in NATO" (IST-077/RTG-035) and "Cognitive Radio in NATO II" (IST-104/RTG-050). This report instead focuses on network-related technologies in order to pursue end-to-end optimization in the network, taking into account the results achieved in those groups. Network-related aspects have also already been investigated in the group "Heterogeneous Tactical Networks – Improving Connectivity and Network Efficiency" (IST-124/RTG-061) with focus on interoperability, while this report targets their enhancement for supporting the aims of Cognitive Radio Networks.

The investigations of this group have come to the result that existing network paradigms for fixed and civilian networks do not necessarily fit military tactical radio networks. These paradigms may actually be counter-productive, as they often do not support e.g., typical military traffic patterns and security aspects. Moreover, they do not provide the flexibility and adaptability required for Cognitive Radio Networks. Consequently, the following proposals for network-related technologies have resulted:

- Routing should use artificial intelligence or machine-learning techniques to optimize route selection.
- For Topology Control, the choice between multiple frequencies on a single link should be considered, as well as specific military aspects, like classification of position information or lack of updates due to radio silence.
- In addition to that, an enhancement regarding the existing protocols for a more efficient data transport is proposed.
- Furthermore, the investigations have pointed out that clustering is important for the design of the network and should therefore support the other technologies used in tactical Cognitive Radio Networks.

- The control channel needs to deal with heavily varying data volumes; therefore, it should be adaptable to the current traffic.

Solutions based on these proposals will lead to improved availability and better end-to-end communication, as the network will be able to better adapt to its environment. Moreover, the spectrum will be used more efficiently.

Network management should be automated, which will lead to reduced management efforts before, during, and after a mission. This allows focusing even more on the mission. In addition to that, the research on trust management has shown its importance for the authenticity of control information. It should be based not only on the observation of the neighbouring nodes, but also on a strong reputation system.

Based on those findings, a new architecture framework for Cognitive Radio Networks is proposed, which can be seen as a starting point for the standardization and development of cognitive tactical radio systems.

# **Réseaux de radio cognitifs : solutions efficaces pour le routage, le contrôle de la topologie, le transport de données et la gestion des réseaux**

## **(STO-TR-IST-140)**

### **Synthèse**

La supériorité de l'information est l'un des aspects les plus importants des missions et opérations militaires d'aujourd'hui. Les informations collectées doivent être disponibles au bon endroit, au bon moment et dans toutes les situations. Pour leur diffusion, des réseaux de communication sont utilisés. Par conséquent, il est nécessaire que de tels réseaux soient adaptables à toutes les situations possibles, ce qui peut entraîner une certaine complexité. Malgré cette complexité, ils doivent être robustes, fiables, efficaces et faciles à mettre en œuvre.

Ce rapport propose des solutions afin que les réseaux radio atteignent ces objectifs. Ces solutions reposent sur l'idée que les réseaux de radio à venir pourront surveiller leurs états internes ainsi que les influences externes, telles que les modifications de l'environnement spectral, et y réagir de manière autonome. Le processus consistant à observer, à prendre des décisions en fonction de ces observations et à en tirer des leçons s'appelle la cognition. Par conséquent, les réseaux qui auront cette capacité sont appelés « réseaux radio cognitifs ».

Les radios cognitives, qui auront la capacité d'observer l'environnement spectral et d'adapter en conséquence leur utilisation de la fréquence de transmission sur la base de liens, ont déjà été traitées dans les groupes « Radio cognitive dans l'OTAN » (IST-077 / RTG-035) et « Radio cognitive dans l'OTAN II » (IST-104 / RTG-050). Ce rapport met plutôt l'accent sur les technologies liées au réseau afin de poursuivre l'optimisation de bout en bout du réseau, en tenant compte des résultats obtenus dans ces groupes. Des aspects liés au réseau ont également déjà été étudiés dans le groupe « Réseaux tactiques hétérogènes - Amélioration de la connectivité et l'efficacité des réseaux » (IST-124 / RTG-061), avec un effort sur l'interopérabilité, tandis que le présent rapport vise à renforcer leur capacité à soutenir les objectifs des réseaux radio cognitifs.

Les recherches de ce groupe ont abouti à la conclusion que les paradigmes de réseau existants pour les réseaux civils et fixes ne conviennent pas nécessairement aux réseaux radio tactiques militaires. En réalité, ces paradigmes peuvent être contre-productifs, car souvent ils ne supportent pas, par exemple, les caractéristiques typiques du trafic radio militaire et les aspects liés à la sécurité. De plus, ils n'offrent pas la souplesse et l'adaptabilité requises pour les réseaux radio cognitifs. Compte tenu de ces éléments, les propositions suivantes concernant les technologies liées aux réseaux ont été élaborées :

- Le routage doit utiliser des techniques d'intelligence artificielle ou d'apprentissage automatique pour optimiser la sélection des cheminements.
- Pour le contrôle de la topologie, le choix entre plusieurs fréquences sur une seule liaison doit être pris en compte, ainsi que des aspects militaires spécifiques, tels que la classification des informations de position ou le manque de mises à jour dues au silence radio.
- Par ailleurs, une amélioration concernant les protocoles existants pour un transport de données plus efficace est proposée.

- Enfin, les recherches ont montré que la mise en grappes est importante pour la conception du réseau et devrait donc prendre en charge les autres technologies utilisées dans les réseaux radio cognitifs tactiques.
- Le canal de contrôle doit gérer des volumes de données extrêmement variables ; par conséquent, il devra être adaptable au trafic actuel.

Les solutions fondées sur ces propositions amélioreront la disponibilité et la communication de bout en bout, car le réseau sera capable de mieux s'adapter à son environnement. De plus, le spectre sera utilisé plus efficacement.

La gestion du réseau doit être automatisée, ce qui amènera une réduction des efforts de gestion avant, pendant et après une mission. Cela permet de se concentrer davantage sur la mission. En outre, les recherches sur la gestion de la fiabilité ont montré son importance pour l'authenticité des informations de contrôle. Elle devra reposer non seulement sur l'observation des nœuds voisins, mais également sur un système de contrôle de la réputation solide.

Reposant sur ces résultats, un nouveau cadre d'architecture pour les réseaux de radio cognitifs est proposé, qui peut être considéré comme un point de départ pour la normalisation et le développement de systèmes de radiocommunication tactique cognitive.