

Françoise Sailhan - Activités de recherche

Activités de recherche

Les travaux de recherche sur lesquels j'ai travaillé au sein du laboratoire de recherche en informatique de l'université de Franche Comté et du projet INRIA Arles, ainsi que les échanges que j'ai effectués dans des laboratoires de recherche d'entreprises Télécom (Nokia durant ma thèse, Ericsson pour mon postdoc), m'ont donné l'opportunité d'explorer plusieurs aspects relatifs aux réseaux sans fil et systèmes distribués, aussi bien d'un point de vue théorique que pratique. Il s'ensuit que mes centres d'intérêts couvrent une variété de thèmes se trouvant à l'intersection des systèmes distribués, architectures orientées services, supervision de réseaux, réseaux sans fil, avec une certaine emphase sur les réseaux mobiles *ad hoc*. Précisément, ma recherche se décompose en quatre axes de recherches principaux : le premier fut développé au sein du projet INRIA Arles et porte sur la localisation dynamique de ressources disponibles et leur exploitation (accès ou invocation) efficace dans un réseau *ad hoc* ou possiblement hybride. A cet effet, j'ai développé de nouveaux algorithmes permettant aux terminaux de découvrir dynamiquement les ressources tout en minimisant le trafic généré et en supportant à la fois une topologie du réseau changeante et une connectivité intermittente. Le second axe de recherche développé au sein du projet INRIA Arles et lors de mon séjour au centre de recherche NOKIA fait référence à l'optimisation des performances lors de la découverte et l'accès aux ressources. J'ai proposé des techniques de mise en cache et de préchargement permettant de réduire les délais perçus par l'utilisateur. Durant mon postdoc chez Ericsson, je me suis intéressée à la configuration et à la supervision des réseaux télécoms et *ad hoc* et plus particulièrement à leur surveillance (*monitoring*), qui, demeure l'une des pierres angulaires à partir de laquelle le bon fonctionnement du réseau, une qualité de service satisfaisante, et l'exploitabilité du réseau d'un point de vue économique, peuvent être garantis. De part la taille et la complexité croissante des réseaux sans fil, un tel contrôle pose des défis (passage à l'échelle, hétérogénéité des réseaux) qui ont motivé ma recherche. Cela m'a amené à proposer un système de notification d'événements adapté aux réseaux à large échelle et à m'intéresser aux protocoles de gestion de groupe. Enfin, actuellement, j'approfondis mes axes de recherche passés au sein du laboratoire d'informatique de Franche Comté, en m'intéressant aux réseaux multi-radio et plus particulièrement à la gestion de leur topologie et de leurs ressources radio, ce qui inclue notamment la sélection et l'assignement efficace de canaux de communication aux terminaux.

Pour résumer, je dirais que mes contributions majeures se décomposent en quatre axes de recherches principaux. Le premier axe de mon travail porte sur la localisation dynamique de ressources disponibles et leur exploitation (accès ou invocation) efficace dans un réseau *ad hoc* ou possiblement hybride. A cet effet, j'ai développé de nouveaux algorithmes permettant aux terminaux de découvrir dynamiquement les ressources tout en minimisant le trafic généré et en supportant à la fois une topologie du réseau changeante et une connectivité intermittente. Le second axe de recherche fait référence à l'optimisation des performances lors de la découverte et l'accès aux ressources. J'ai proposé des techniques de mise en cache et de préchargement permettant de réduire les délais perçus par l'utilisateur. Ensuite, je me suis concentrée sur la configuration et la supervision des réseaux sans fil à large échelle. Cela m'a amené à proposer un système de notification d'événements adapté aux réseaux à large échelle et à m'intéresser aux protocoles de gestion de groupe. Enfin je m'intéresse actuellement à la gestion de la topologie et des ressources radio d'un réseaux sans fil hétérogène et notamment à l'assignation dynamique de canaux de fréquence. Chacun des axes de recherche que je viens de présenter est détaillé dans les section ci-dessous.

Projet INRIA Arles - Accès aux ressources dans un réseau sans fil

Dans les réseaux filaires ou sans fil basés sur des infrastructures, les solutions proposées afin de localiser les ressources se basent majoritairement sur un répertoire centralisant les informations relatives aux ressources du réseau. Ces solutions sont inexploitables dans les réseaux *ad hoc* en raison de leur manque de connectivité. Il s'en suit que les approches proposées pour les MANETS sont entièrement distribuées. En contre partie, elles font appel à des techniques de diffusion particulièrement coûteuses en terme de trafic généré et sont pour cette raison utilisables seulement dans les MANETS caractérisés par une petite taille et

un trafic relativement faible. Or, cette inefficacité des solutions existantes demeure l'un des freins majeur au développement d'applications pour les réseaux sans fil intégrant des réseaux *ad hoc*. Cela m'a donc amené à proposer de nouveaux algorithmes pour effectuer une localisation distribuée et garantir ainsi un accès aux ressources disponibles dans un réseau MANET. L'objectif fondamental poursuivi lors de la conception de ces algorithmes, consiste à fournir une localisation des ressources qui prend en compte l'environnement dans lequel évoluent les terminaux et exploite les propriétés des MANETs. La première approche¹ que j'ai proposée est entièrement distribuée. Les terminaux coopèrent ensemble afin de localiser des ressources sur le réseau. En particulier, je propose un schéma de collaboration qui améliore les performances en sélectionnant le terminal le plus à même de répondre, ce qui conduit à un ratio de *hit* identique alors que le trafic généré est réduit. Ce processus de sélection prend en compte différentes métriques telles que la bande passante disponible, la connectivité des terminaux et leurs capacités (e.g., batteries, mémoire et calcul), et, les combine pour définir avec quel terminal la communication sera établie. Cet algorithme a été appliqué afin de fournir un accès à des contenus Web. Enfin, il a été évalué et validé à l'aide de simulations détaillées portant sur la consommation énergétique des terminaux induite par leurs coopérations. Le second algorithme² se focalise sur les réseaux MANETs de grandes tailles (i.e., comprenant plusieurs centaines de nœuds). Cette solution se base sur le déploiement dynamique et homogène de répertoires coopérant ensemble et constituant ainsi une arête du réseau. Chaque répertoire est responsable de la collecte des informations relatives aux services déployés dans son entourage. Le déploiement des répertoires est effectué automatiquement de façon (i) à répondre aux impératifs de spontanéité des réseaux *ad hoc* et (ii) à ce que chaque répertoire couvre des parties du réseau disjointes. Le passage à l'échelle de cette solution est garanti pour plusieurs raisons. Tout d'abord, le protocole minimise le trafic généré par la diffusion des messages en utilisant des techniques dites de *cross layer* et en réduisant la portée des messages. De plus, le contenu des répertoires est résumé de façon compacte à l'aide de filtres de Bloom³ pouvant être échangés entre répertoires à faible coût. Cette contribution majeure a été validée lors de simulations et d'une mise en œuvre d'un prototype de logiciel co-développé nommé Ariadne. Plus précisément, Ariadne permet de localiser et d'invoquer de façon efficace les services Web se trouvant aussi bien dans des réseaux MANETs que des réseaux hybrides, c'est-à-dire composés à la fois de réseaux MANETs et de réseaux à base d'infrastructures. Ariadne offre un niveau significatif d'interopérabilité entre des terminaux ayant des plates-formes matérielles et logicielles différentes, en se basant sur les standards des services Web. Ce logiciel développé dans le cadre du projet européen Ubisec auquel j'ai participé, est disponible⁴ sous licence libre LGPL. Le protocole de localisation de service Web d'Ariadne a par la suite été modifié afin d'être intégré dans l'intergiciel WSAMI⁵ développé au sein de l'équipe Arles, qui supporte la composition dynamique des instances de services Web tout en renforçant la qualité de service offerte à l'utilisateur. Enfin, au cours de mon séjour au centre de recherche Nokia à Helsinki, j'ai conçu un système de partage de fichiers distribués supportant les opérations déconnectées de l'utilisateur mobile munis de terminaux ayant des capacités réduites et opérant dans des réseaux Bluetooth. Le système gère les opérations d'écriture et de lecture lorsque l'utilisateur est déconnecté en utilisant un cache dans lequel sont stockées localement les copies des fichiers. Puis, le logiciel gère automatiquement (en interrogeant de façon ultime l'utilisateur) les éventuels conflits survenant durant la mise à jour des fichiers, c'est-à-dire, durant l'étape de synchronisation des fichiers. J'ai développé ce système de partage de fichiers distribués, qui, peut être déployé sur des téléphones sans fil.

Projet INRIA Arles, centre de recherche NOKIA - Amélioration de l'accès aux ressources

Dans les réseaux *ad hoc*, deux contraintes primordiales doivent être considérées. Elles correspondent au manque de connectivité résultant notamment des changements de topologie du réseau, et au temps

¹Sailhan F. and Issarny V. *Energy-aware Web caching for mobile terminals*. In *proc. of the IEEE ICDCS Workshop on Web Caching Systems*, 2002.

²Sailhan F., Issarny V. *Scalable service discovery for MANETs*. In *proc. of IEEE International Conference on Pervasive Computing and Communications (PERCOM)*, 2005.

³Bloom B., *Space time trade-offs in hash coding with allowable errors*. *Communication of the ACM*, 13(7), 1970.

⁴<http://www-rocq.inria.fr/arles/download/ariadne>.

⁵Issarny V., Sachetti D., Tartanoglu F., Sailhan F., and al. *Developing ambient intelligence systems : A solution based on Web Services*. In *journal of Automated Software Engineering*, 2004.

d'attente de l'utilisateur. Ces contraintes ont un impact d'autant plus important puisque le temps d'attente de l'utilisateur induit par l'accès à une ressource s'ajoute à celui de la localisation de cette dernière. Afin de masquer les déconnexions et réduire le temps d'attente de l'utilisateur, j'ai proposé des caches ainsi que des techniques de préchargement⁶. Ces caches réduisent la surcharge du réseau puisque moins de requêtes et de réponses sont émises. De plus, ils atténuent la charge des terminaux mettant à disposition des ressources puisque ces derniers sont moins souvent sollicités. Ils diminuent la latence de l'utilisateur puisque les contenus sont accessibles localement ou à partir de terminaux proches conservant dans leur caches ces contenus. Les capacités limitées des terminaux et donc la saturation rapide des caches, nous ont conduits à proposer une stratégie de placement et de remplacement (des informations relatives aux ressources stockées dans le cache) adaptée aux réseaux sans fil *ad hoc*. Nous avons ainsi proposé une stratégie hybride prenant en compte plusieurs aspects du *pervasive computing*, à savoir aussi bien le coût d'accès en terme énergétique à la ressource, que les caractéristiques de la ressource, ou encore sa probabilité de ré-accès. De plus, nous avons proposé de précharger les informations relatives à la ressource afin de masquer les déconnexions intermittentes à l'utilisateur. Cette stratégie de préchargement se base sur un algorithme de prédiction et un arbre de dépendance afin d'anticiper les futurs accès aux ressources. Cette stratégie de préchargement prend en compte les capacités limitées des terminaux en adaptant le niveau du graphe de dépendance. Par ailleurs, elle permet d'offrir à l'utilisateur un accès performant aux ressources, c'est-à-dire rapide, adapté à ses besoins et aux ressources dont dispose le terminal de ce dernier, et ce malgré les déconnexions fréquentes et la faible bande passante disponible dans un réseau *ad hoc*.

Centre de recherche Ericsson - Gestion efficace de réseaux sans fil

Mon travail de postdoc porte sur la configuration et la supervision de réseau sans fil télécom⁷, et m'a amené à proposer un système⁸ de notification d'événements pouvant être aussi bien utilisé pour gérer des réseaux sans fil télécoms⁹ que pour supporter une communication de type asynchrone, point à point voir multi-points entre des composants distribués sur des zones géographiques de taille importante. Ce système se base sur un modèle classique de type publier/souscrire (*publish/subscribe* en anglais) dans lequel l'entité qui publie envoie de façon continue des notifications relatives aux événements qu'il génère, à destination de consommateurs y ayant préalablement souscrits. Notre approche est innovante en deux points : tout d'abord, au lieu de nous baser sur des protocoles multicast difficilement déployables sur des réseaux non propriétaires, ou encore sur des systèmes de type hiérarchiques peu tolérants aux pannes et propices à la formation de goulets d'étranglement, ou même sur des systèmes pair à pair à base de DHT (pour *Distributed Hash Table*), nous utilisons un protocole de niveau applicatif tolérant aux pannes et caractérisé par une configuration dynamique. Il offre¹⁰ par ailleurs des performances supérieures aux DHTs tout en garantissant un passage à l'échelle équivalent. De plus, nous abordons aussi le problème de surcharge des routeurs induit par le filtrage des notifications. A cet effet, nous proposons une méthode de filtrage sophistiquée¹¹ qui limite l'utilisation des ressources. Cette méthode se base sur un système d'indexation des souscriptions à base de clés garantissant *a posteriori* un *matching* rapide entre une notification entrante et l'ensemble des souscriptions archivées. Ainsi, malgré le degré d'expressivité poussé, fourni par le langage de souscription dans le but de capturer la diversité des intérêts des utilisateurs, notre système garantit toujours son passage à l'échelle grâce tout d'abord à cette stratégie de filtrage intelligente, et dans un second temps à un haut niveau de distribution¹². Par ailleurs, ma

⁶Sailhan F. and Issarny V. *Energy-aware Web Caching over hybrid networks*. Handbook of Mobile Computing, CRC Press, 2005.

⁷Baliosian J., Devitt A., Sailhan, F., and al. *Self-configuration for radio access networks*. In proc. of the IEEE Workshop on Policies for Distributed Systems and Networks (POLICY), 2006.

⁸Sailhan F. and Baliosian J. *Scalable event notification for ubiquitous networks*, Rapport de recherche, 2007.

⁹Baliosian J., Sailhan F., Devitt A. and Bosneag A.M. *The Omega architecture : towards adaptable self-managed networks*. In proc. of IEEE Workshop on Distributed Autonomous Network Management Systems (DANMS), 2006.

¹⁰Janic M., Ireke N., Zhou X. and al. *Hopcount in the Nice Application Layer Multicast Protocol*. In proc. of IEEE International Symposium on Network Computing and Applications (NCA), 2005.

¹¹F. Sailhan, Baliosian J.. *An Event Prefiltering Method for Publish Subscribe Event System*, brevet en cours de dépôt.

¹²F. Sailhan and Farrell P. *Cluster-based Publish/Subscribe Event Notification*, brevet en cours de dépôt.

participation au projet Celtic Madeira¹³ m'a amenée à proposer un système de gestion de groupes¹⁴ à base de politiques (*policies* en anglais), ces politiques étant chargées de définir la structure du groupe (ou une partie du groupe), les métriques utilisées par le groupe ou une partie du (comme par exemple le nombre de sauts, bande passante disponible) et des paramètres de configuration tels que le nombre maximal de membres acceptés dans le groupe. Ainsi, contrairement aux protocoles classiques, cette approche ne contraint pas le système en fixant un nombre limité de contraintes (géographiques ou encore portant sur le nombre maximum de membres par exemple) et de métriques pour gérer leur topologie (tels que bande passante, ou nombre de sauts). Par ailleurs, cette approche garantit que tout changement de configuration, de métrique ou encore de contrainte est effectué en temps réel - un administrateur statuant en cas de conflits entre politiques - et cela sans mener à un changement d'implémentation du protocole ou à son redéploiement. Ce système a été appliqué¹⁵ conjointement avec un protocole de gestion de groupe de niveau applicatif¹⁶, afin d'assurer une configuration et gestion (arrivée, départ et adaptation aux changements de topologie) des entités d'un réseau télécom c'est-à-dire stations de bases radio et contrôleurs (RBSs pour *Radio Base Stations* et RNCs ou *Radio Network Controlers*) et le routage¹⁷.

Université de Franche Comté - Gestion de ressources radio

Mon travail au sein de l'université de Franche Comté porte sur la sélection et l'allocation distribuée de canaux dans les réseaux multi-radios à base de MANETs. Bien que les réseaux MANETs aient reçu une certaine attention de la part des chercheurs, il s'avère que la gestion des ressources radios des réseaux multi-radio intégrant des MANETs reste un aspect négligé. Principalement, l'assignation des canaux de fréquence se limite aux réseaux de la famille de protocole IEEE 802.11, et cela alors que toutes les technologies radio opérant dans des zones de fréquence sans licence devraient être pris en compte puisqu'elles interfèrent les uns avec les autres. Pour pallier à ce problème, mon travail vise à attribuer et assigner des canaux de fréquence dans des réseaux multi-radios pouvant interférer les uns avec les autres. La première étape de mon travail consiste à :

- proposer une nouvelle heuristique d'allocation stable et optimale pouvant opérer aussi bien dans des réseaux MANETs purs que dans des réseaux multi-radio (c'est-à-dire des réseaux MANETs hybrides). Une telle heuristique vise à attribuer des canaux non-orthogonaux dans le but d'une part d'optimiser la réutilisation spatiale de canaux et d'autre part de maximiser le nombre de communication pouvant avoir lieu en parallèle, et cela tout en réduisant le niveau d'interférence,
- définir un mécanisme de coordination distribué et à large échelle permettant d'assignation des canaux entre des réseaux interférant les uns avec les autres.

Dans un deuxième temps, mon travail consiste à étendre mes travaux afin de prendre en compte des critères multiples visant à garantir que les besoins des applications (qualité de service ou transmission temps réel) et des utilisateurs (minimisation de la consommation énergétique du terminal ou pris en compte du coût financier) sont remplis. Cela nécessite de s'appuyer sur des métriques (comme par exemple le niveau d'interférence), des métriques dépendant des applications envisagées (e.g., le niveau de contention d'un terminal lorsque nous considérons la délivrance de données multimédia) ou encore des métriques prépondérantes du point de vue des utilisateurs (comme c'est le cas lorsque l'on considère le coût financier d'une communication) qui toutes ensemble modifient le comportement du système d'attribution de canaux de fréquence. D'un point de vue pratique, ces critères sont exprimés sous la forme de règles stockées et gérées par un système de politique. Pour que cette proposition constitue une solution unifiée à part entière, nous aurons pour objectif d'intégrer le mécanisme d'allocation de canaux que nous proposons avec les services, applications, systèmes

¹³<http://www.celtic-initiative.org/Projects/MADEIRA/default.asp>.

¹⁴Sailhan F., Collins S., Fallon L., Parker D., Doudane S.G, Huang Y. *A Policy driven grouping service for network management*, PCT/EP2006/068448, 2006.

¹⁵Fallon L., Sailhan F and Parker D. *Self-forming network management topologies*, application number PCT/SE2006/070125, 2006.

¹⁶Doudane S.G., Sailhan F., Collins S., Fallon L., Parker D., Huang Y. *Using groups to manage wireless mesh networks*, brevet en cours de dépôt.

¹⁷Huang Y, Sailhan F., Collins S., Fallon L., Parker D., Doudane S.G. *optimized link state routing protocol*, PCT/EP2006/21958, 2006.

de politique et protocoles visant à :

- configurer et gérer les réseaux MANETs dans le but de faciliter leur déploiement et leur ajustement aux conditions plus que versatiles de l’environnement,
- à adapter le comportement du mécanisme d’allocation de canaux.

Tous ces composants, ensembles, permettront de configurer une architecture de gestion des ressources radios qui réponde aux exigences des réseaux multi-radios hybrides ; cette architecture représentant une pierre angulaire à partir de laquelle des services à haute valeur ajoutée pourront être déployés.

Réalisations matérielles et logicielles

Lors de mon séjour au centre de recherche Nokia à Helsinki, j’ai effectué la conception et le développement d’un logiciel de partage et gestion de fichiers distribués spécialement adapté pour des utilisateurs mobiles munis de terminaux ayant des capacités réduites et opérant dans des réseaux Bluetooth. Le système effectue les opérations d’écriture et de lecture lorsque l’utilisateur est déconnecté, en utilisant un cache dans lequel sont stockées localement les copies des fichiers. Ce logiciel propriétaire a demandé quatre mois de travail et a été développé dans le but d’être déployé sur des téléphones sans fils. Par ailleurs, mes travaux de thèse ont donné lieu au développement du logiciel Ariadne qui permet de localiser et d’invoquer de façon efficace les services Web se trouvant aussi bien dans des réseaux MANETs et d’une simulation sur NS2¹⁸. Ce logiciel, d’environ 12 milles lignes de codes, développé de façon conjointe (implication personnel au niveau de implémentation du logiciel : 20%, simulation : 100%) avec Raffic Chibout dans le cadre du projet européen Ubisec durant six mois, est à l’heure actuelle disponible sous licence libre LGPL et accessible à partir de <http://www-rocq.inria.fr/arles/download/ariadne>. Enfin, dans le cadre de mon postdoc à Ericsson, j’ai co-développé avec Zaid Anwer (70%) un système de notification d’événements adapté pour des réseaux à grande échelle. Ce protocole, d’environ 5 milles lignes de code, se base sur une implémentation existante d’un système de notifications d’événements nommé Siena¹⁹. Ce développement dont la durée est de sept mois, sera par la suite intégré à un intergiciel de configuration et de gestion de réseau télécom propriétaire développé par Ericsson.

Par ailleurs, j’ai déposé 3 brevets. Le premier²⁰ porte sur un protocole de gestion de groupes utilisant des politiques (*policies* en anglais) dans le but d’effectuer une configuration et gestion automatique dans un réseau télécom. Le second²¹ présente une plate-forme de configuration et de gestion de groupes multiples dédiée aux réseaux 3G. Le troisième²² propose une extension du protocole de routage OLSR afin d’intégrer un support multi-métrique. A cela s’ajoute trois brevets en cours de dépôt, portant sur la gestion distribué d’événements²³, le filtrage d’événements²⁴ et un mécanisme de clustering pour les réseaux mesh²⁵.

¹⁸<http://www.isi.edu/nsnam/ns>

¹⁹<http://www-serl.cs.colorado.edu/carzanig/siena/>

²⁰Sailhan F., Collins S., Fallon L., Parker D., Doudane S.G., Huang Y. *A Policy driven grouping service for network management*, 2006, PCT/EP2006/068448, 2006.

²¹Fallon L., Sailhan F and Parker D.. *Self-forming network management topologies*, application number PCT/SE2006/070125, 2006.

²²Huang Y, Sailhan F., Collins S., Fallon L., Parker D., Doudane S.G. *Extensible optimized link state routing protocol*, PCT/EP2006/21958, 2006.

²³F. Sailhan and Farell P. *Cluster-based Publish/Subscribe Event Notification*, brevet en cours de dépôt.

²⁴F. Sailhan, Baliosian J.. *An Event Prefiltering Method for Publish Subscribe Event System*, brevet en cours de dépôt.

²⁵Doudane S.G., Sailhan F., Collins S. *A clustering mechanism optimized for managing and wireless mesh networks*, brevet en cours de dépôt.