

# Un Modèle pour la Simulation d'un Phénomène Complexe : Le Développement d'un Système de Télécommunication

Elie Fute TAGNE

*Laboratoire d'Electronique et de Traitement  
du Signal (LETS),  
Ecole Nationale Supérieure Polytechnique,  
Université de Yaoundé I  
eliefute@yahoo.fr*

César VIHO

*IRISA César VIHO  
Université de Rennes I  
cesar.viho@irisa.fr*

Alain AKONO

*Laboratoire d'Electronique et de Traitement  
du Signal (LETS),  
Ecole Nationale Supérieure Polytechnique,  
Université de Yaoundé I  
aakono@yahoo.com*

## Résumé :

*Le but des travaux dans cet article est de mettre exergue des techniques de suivi du développement des réseaux de télécommunications à l'aide des outils conceptuels et d'évaluation pertinente de ses caractéristiques. L'approche multi-agent permet de prendre en compte dans les modèles, des comportements qualitatifs et individuels. Nous proposons un modèle basé sur les systèmes multi-agents pour la simulation du développement des réseaux de télécommunication. Il est également présenté une architecture du système, ainsi que le modèle communicationnel de nos agents.*

**Mots clés :** Agent, système Multi-agents, système de télécommunication, agentification

## Abstract:

*The main objective in this paper is to follow and validate the development of the telecommunications networks using the conceptual tools and relevant evaluation of their characteristics. The development of telecommunications networks is a dynamic and complex phenomenon. To study the dynamics of the complex systems, the multi-agent approach is used today like an alternative to the traditional mathematical models. This*

*approach consists in not representing the system in terms of variables and equations, but rather in terms of entities and interactions. The multi-agent approach also makes it possible to take into account in the models, the qualitative and individual behaviours. We propose a model based on the multi-agents systems for the simulation of the development of the telecommunications networks. We also present an architecture of the system, as well as the model of communication of our agents.*

**Key words :** Agent, multi-agent system, telecommunication system, agentification

## 1. Introduction

Dans le contexte des télécommunications, le rôle du système de communication est la distribution de l'information d'une localité à une autre [9]. Un tel système possède des équipements (routeurs, commutateurs, modems, ...) donc les comportements changent en fonction des circonstances et du temps. L'allocation des bandes passantes a pour effet de faire modifier l'état des équipements. L'occupation des surfaces terriennes (régions) par les équipements de télécommunications se veut dynamique et dépend de la

situation géographique et/ou des intempéries environnementales de ladite région.

Pour étudier les réseaux de télécommunications et concevoir des algorithmes de communication, il convient de définir un modèle théorique. Il existe plusieurs types de modèles, certains simples ne prenant en compte qu'un nombre limité de paramètres, d'autres complexes collant de plus près à la réalité. Les modèles complexes sont souvent lourds à manipuler, par contre les modèles plus simples s'étudient plus aisément sans signifier que les problèmes à résoudre soient simples. Il convient donc, lorsque l'on veut choisir un modèle, de trouver un compromis entre son pouvoir d'expression et sa complexité [8].

Les réseaux de télécommunications peuvent être modélisés :

- o par des graphes,
- o par les SIG (Système d'Information Géographique),
- o par la géométrie stochastique,
- o par les systèmes multi-agents.

Dans la modélisation par les graphes, les nœuds du réseau sont représentés par des sommets, les liens unidirectionnels par des arcs et les liens physiques bidirectionnels par des arêtes.

L'approche de modélisation par les SIG consiste à utiliser les éléments des Systèmes d'Information Géographique pour positionner différents équipements sur une carte afin de fournir une représentation graphique du système étudié. L'intégration dans ce modèle d'un module d'interrogation et de prise de décision à partir des données présentes dans la base permet de le dynamiser.

La géométrie stochastique s'est avérée être un outil générique pour la modélisation de réseaux de télécommunications. L'idée de l'approche est de représenter la configuration d'un réseau par une famille d'objets aléatoires (ensembles de points, graphes, pavages). L'analyse des modèles s'effectue par des méthodes générales de la géométrie stochastique, de la théorie des processus ponctuels, de la statistique spatiale et de la théorie des graphes.

Nous présentons une approche de modélisation basée sur un ensemble d'entités en interaction : Système multi-agents.

## 2. Système multi-agents (SMA) et télécommunications

Ces dernières années, les télécommunications ont notamment introduit une conception de services décentralisée dans le contexte du Web, créé de nouveaux services de médiation tels que les portails et engendrés l'apparition de nombreux fournisseurs de services réseaux qui ne disposent pas de leurs propres services réseaux. L'obtention de tels services décentralisés ne peut, bien entendu, être obtenue que grâce à des logiciels pour

lesquels les données et le contrôle sont forcément distribués. De ce fait, il est clair que les SMA semblent convenir aux télécommunications. C'est pourquoi les principaux acteurs de télécommunications mènent actuellement d'intenses activités de recherche sur la technologie agent : British Telecom, France Télécom, Deutch Telekom, NTT, Nortel, Siemens, etc... [2].

Tous ces éléments nous amènent à pressentir la pertinence de la modélisation par les systèmes multi-agents.

## 3. Applications des SMA aux télécommunications

Les applications des SMA aux télécommunications sont nombreuses, mais on peut les regrouper en quatre classes principales : les agents assistants, l'intégration de services et le commerce électronique, l'administration et la régulation de réseaux, et enfin la simulation de réseaux et de comportements. Nous présentons ci-dessous une architecture des applications des SMA aux télécommunications et nous nous intéressons à la simulation de réseaux et de comportements.

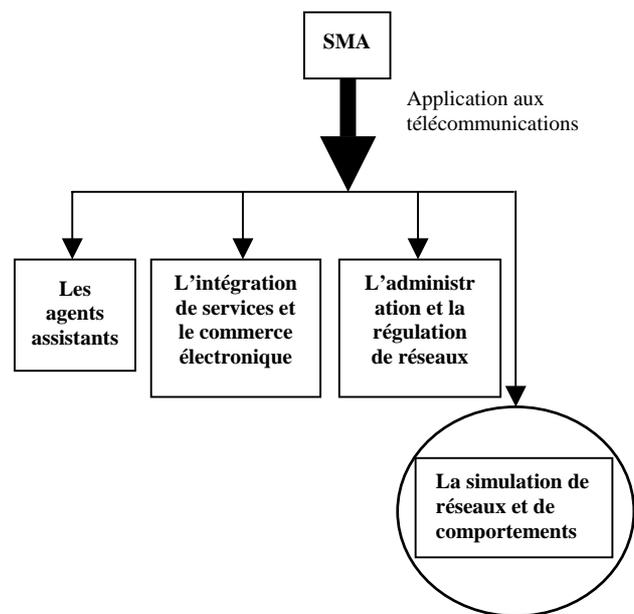


Figure 1. Application des SMA

## 4. Limites des approches de modélisation existantes

Les modèles non basés sur les agents ont les limites suivantes :

Si une modification de comportement doit être prise en considération, le modèle doit être reconstruit. L'intelligence artificielle classique a montré ses limites du point de vue de structurer et d'organiser la connaissance.

Un graphe est une représentation symbolique d'un réseau. Il s'agit d'une abstraction de la réalité de sorte à permettre sa modélisation. En géographie des transports, la plupart des réseaux ont un fondement spatial, mais ceci n'est pas vrai pour tous les réseaux de transport [5]. Par exemple, il est possible de représenter un système de télécommunication sous forme de réseau bien que son expression spatiale ait une importance limitée. Les exemples d'un réseau de téléphones mobiles ou l'Internet incarnent des cas de réseaux à structure spatiale limitée. Toutefois, la majorité des réseaux de transport peut être représentée par le biais de la théorie des graphes.

Pour ce qui est de la modélisation par la géométrie aléatoire, le travail d'application des résultats théoriques obtenus (traitement des processus de Poisson hétérogènes par changement d'espace, pavage du plan autre que selon le critère du nœud le plus proche, lois tirées des résultats donnés par l'optimisation stochastique au lieu de l'optimisation paramétrique utilisée jusqu'ici, ...) n'a pas encore été confirmé.

Le modèle décrit est conceptuel et mathématique. Lorsqu'on essaye d'approcher ces modèles de la réalité, on obtient des systèmes très complexes et très lourds à manipuler. La lourdeur des traitements est due à la centralisation des différentes tâches et des différents traitements.

## 5. Raisons de notre approche

Plusieurs arguments vont en faveur des systèmes multi-agents, à savoir : L'efficacité des traitements, la robustesse et la sûreté de fonctionnement, la flexibilité et le traitement à grande échelle, un coût de fonctionnement faible, et un coût de développement et de réutilisation intéressant.

En optant pour la modélisation par les agents, certains traitements et certaines décisions sont décentralisés au niveau des différents nœuds ou agents. L'approche multi-agent permet également de prendre en compte dans les modèles, des comportements qualitatifs et individuels. Il y a possibilité dans notre modèle de faire exécuter nos agents en parallèle et même de faire exécuter nos agents sur des machines différentes. Ceci permet de palier à certains problèmes rencontrés dans les modèles décrits plus haut. La difficulté que pose ce modèle se situe au niveau de la synthèse des différents traitements et des différentes décisions.

## 6. Notre approche.

### 6.1. Concepts de base

#### 6.1.1. Qu'est-ce qu'un agent ?

Il n'existe pas encore un consensus sur la définition d'un agent. En plus de la relative jeunesse du domaine, une des raisons réside dans le fait que diverses communautés revendiquent ce terme avec des problématiques parfois au départ assez différentes même si ces différentes problématiques sont complémentaires et conduites à se rencontrer à terme.

D'après [4], un agent est une entité logicielle ou physique à qui est attribuée une certaine mission qu'elle est capable d'accomplir de manière autonome et en coopération avec d'autres agents.

#### 6.1.2. Qu'est-ce qu'un système multi-agent ?

La définition d'un système multi-agent (avec son acronyme SMA, et MAS pour « multi-agent system » en anglais) est plus immédiate : « un système multi-agent est un ensemble organisé d'agents ». Nous ne faisons que suivre ici la définition usuelle du terme système : « un ensemble organisé d'éléments ».

Au plan collectif, on peut aussi considérer l'idée de système multi-agent comme une évolution de la notion de composant logiciel (objet) pour lequel le couplage entre composants est abordé au niveau des connaissances et pas au niveau des types de données [6].

Nombreuses méthodes d'agentification existent et permettent de distinguer trois niveaux d'abstraction dans un système multi-agent : Le niveau des agents individuels, Le niveau des interactions entre les agents, Le niveau de l'organisation du système

Le système est alors construit à partir de ces trois niveaux, en les réifiant dans les agents eux-mêmes et en s'appuyant sur la notion de *rôle*. Un agent a trois rôles : Fonctionnel, relationnel, et organisationnel

Le système distribue ces trois rôles dans l'activité des agents, qui les tiennent selon leurs actions et après négociation avec leurs accointances, et qui définissent ainsi des groupes dans lesquels les agents auront des rôles complémentaires, bien structurés et cohérents.

## 6.2. Structuration de notre système

### 6.2.1. modèle global du système

Le modèle globale du système est le suivant :

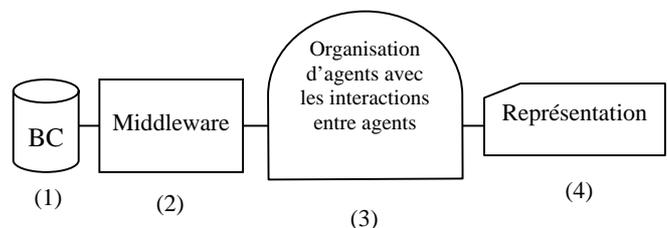


Figure 2. Modèle global du système

### 6.2.2. Représentation modulaire de notre système

Une représentation modulaire de notre environnement multi-agents est la suivante :

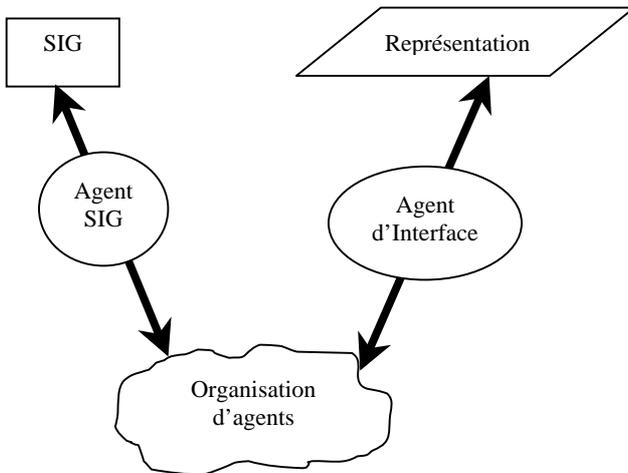
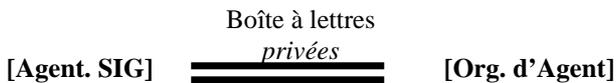


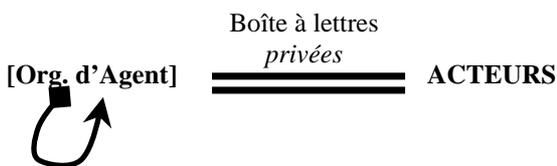
Figure 3. Représentation modulaire du SMA

### 6.3. Module communicationnel

#### 6.3.1. Mode de communication



Un agent peut demander à l'agent SIG de mettre à jour dans la base certains de ses paramètres (sa nouvelle position par exemple).



La communication entre les agents de l'organisation d'agents se fait directement en déposant un message dans la boîte aux lettres de ceux concernés par la communication.

#### 6.3.2. Dynamique des canaux communicationnels

Les canaux de communication doivent être mis à jour régulièrement. La dynamique d'un canal est la mise à jour de la liste des agents du système qui communiquent en utilisant ce canal. Ceci est un point fondamental pour qu'il y ait une certaine cohérence dans l'ensemble et dans la représentation.

### 6.4. Hiérarchisation de l'organisation d'agents

Présentation des éléments d'un système de télécommunication.

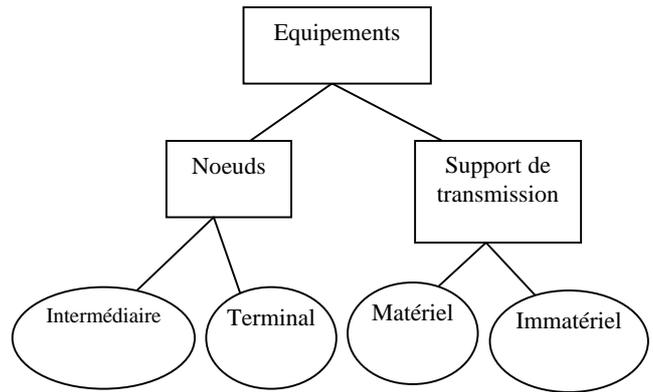


Figure 4. Décomposition d'un système de télécommunication

Le niveau (3) est le plus bas dans la décomposition car à partir d'ici, on ne peut que citer des composants.

Ceci nous conduit donc à la déduction de 4 grandes classes d'entités. Les nœuds terminaux et intermédiaires sont considérés comme des agents pour plusieurs raisons : Les entités ont des fonctions à satisfaire (joindre un abonné, acheminer les données,...) ou à optimiser, possèdent des ressources propres (les équipements utilisés pour atteindre ses objectifs).

Les entités support matériel et immatériel sont considérées comme des objets pour les raisons suivantes : Les propriétés d'un support sont des données fixes ; ce sont des entités qu'utilisent ou que consomment les agents, ce sont des entités passives et statiques. Les principales caractéristiques des supports peuvent être : nature, bande passante, atténuation, poids, encombrement, technique de transmission, fiabilité, coût (d'achat et d'installation).

La figure suivante présente le schéma de manipulation des différentes entités.

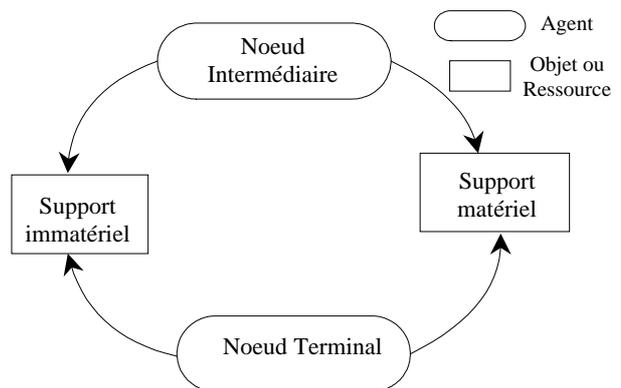


Figure 5. Schéma communicationnel entre les différents entités

## 6.5. Propriétés de notre SMA et dynamique des agents

Un SMA peut-être [1]:

**Ouvert** : les agents y entrent et en sortent librement (ex: un café, une application de commerce électronique, etc.)

**Fermé** : l'ensemble d'agents reste le même (ex: un match de football, un système multi-experts)

**Homogène** : tous les agents sont construits sur le même modèle (ex: une réunion de travail, une colonie de fourmis)

**Hétérogène** : on a des agents de modèles différents, de granularité différentes (ex: un éco-système)

**Mixte (ou non)** : les agents « humains » sont partie intégrante du système (ex: un groupe de travail médié par des agents assistants donne lieu à un SMA ouvert et hétérogène)

Les applications les plus complexes concernent les SMA ouverts, hétérogènes et mixtes, mais la plupart des recherches se font sur les systèmes fermés et homogènes. Pour ce qui est des télécommunications, des systèmes de transports, des réseaux, on utilise les systèmes hétérogènes et ouverts.

Les entités peuvent être communicantes, situées et communicantes.

Chaque agent du système possède une dynamique propre décrit par son comportement à chaque instant. De façon générale, un agent peut :

- Recevoir des messages
- Envoyer des messages
- Mettre à jour les variables de son champ d'action
- Faire une délibération.

Les variables de son champ d'action regroupent : ses attributs propres, les attributs des autres agents du systèmes qu'il peut demander de modifier.

## 6.6. Architecture du système

Liste et rôles des agents du système :

- **Agent SIG**  
Agent chargé de gérer le SIG (Système d'Information Géographique). Il répond aux différentes requêtes des agents Nœud Intermédiaire et Nœud Terminal concernant le SIG.
- **Agent d'Interface**  
Il est chargé de présenter une représentation visuel du système. Pour cela, il communique avec les agents Nœud Intermédiaire et Nœud Terminal afin de les représenter en fonction des caractéristiques qui lui sont fournies.
- **Agent Nœud Intermédiaire**  
C'est un agent de relais. Il prend le message d'un autre agent et l'achemine vers un autre qui peut être toujours un nœud intermédiaire ou bien un nœud terminal.

- **Agent Nœud Terminal**  
C'est un agent capable d'initier une communication ceci en indiquant l'agent qu'il désire joindre.
- **Agent d'Organisation**  
Il a un rôle organisationnel. Il crée les agents en fonction à la demande ou quand nécessité s'impose pour l'accomplissement d'une tâche précise. Lorsqu'un agent arrive en fin d'activité, il est tué par celui-ci.

Notre architecture est le suivant :

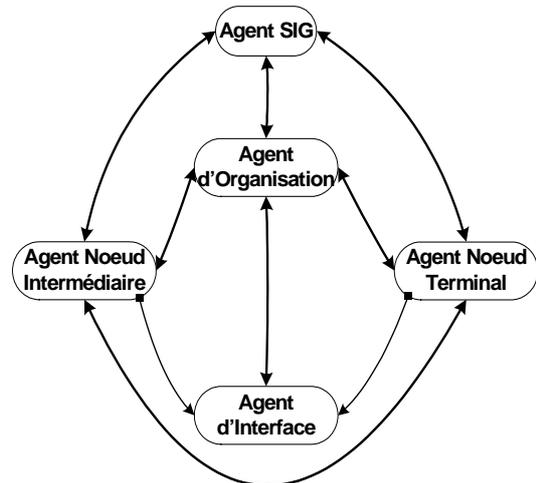


Figure 6. Architecture du SMA

## 7. Quelques résultats de simulation

Au lancement du système, seul l'agent d'organisation est actif. La figure ci-dessous présente ses différentes actions.

```

$ $
$ $ h
0 : Créer un noeud et ses caractéristiques
1 : Identifier l'agent
2 : Envoi de message
3 : Reception de message
4 : Liste des agents noeud
5 : Supprimer un agent noeud
6 : Activer les agents noeuds
7 : Afficher l'agent noeuds
h : Help
0 : Quitter l'agent
  
```

Figure 7. Actions de l'agent d'Organisation

La figure ci-dessous présente la file des agents que gère l'agent d'organisation à t=t9.

```

$ $
$ $ 4
Je suis le Noeud numéro 5
Mon nom est: Sw

Je suis le Noeud numéro 3
Mon nom est: Rout

Je suis le Noeud numéro 2
Mon nom est: Con

Nombre total d'agents noeud : 6
Nombre d'agents en cours : 3
$ $
$ $
  
```

Figure 8. Agents du système en t9

Le tableau suivant présente en fonction du temps le nombre d'agents ayant existés dans le système d'une part et le nombre d'agents présent à cet instant ( $t=t_i$ ) dans le système.

Temps	Nombre total d'agents	Nombre d'agents en cours
t0	1	1
t1	2	2
t2	2	1
t3	3	2
t4	4	3
t5	5	4
t6	6	5
t7	7	6
t8	7	5
t9	7	4
t10	7	3
t11	7	2
t12	7	1

Tableau 1. Evolution du nombres d' agents dans le système

Le graphique ci-dessous montre une évolution du nombres d'agents du système en fonction du temps. Les différents agents sont créés et supprimés par l'agent d'organisation. On remarque que le système commence avec un agent en t0 et fini en t12 avec le même agent : Il s'agit de l'agent d'organisation.

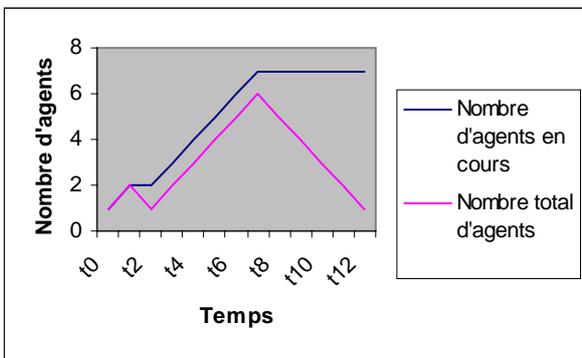


Figure 9. Dynamique d'évolution des agents

## 8. Conclusion

Les réseaux de télécommunications peuvent être modélisés par des graphes, par les SIG (Système d'Information Géographique), par la géométrie stochastique, par les systèmes multi-agents, nous avons présenté les raisons de notre choix qui est la modélisation par les systèmes multi-agents. La communication entre les agents a été présentée avec une approche de modélisation des canaux de communication. Nous avons ressorti la

dynamique d'évolution du nombre d'agents de notre système.

L'étude des réseaux de télécommunications nécessite la définition de modèle théorique. Nous avons évoqué différents types de modèle existant pour la résolution du problème lié au développement des réseaux de télécommunication. Il existe certains modèles simples ne prenant en compte qu'un nombre limités de paramètres, d'autres complexes collant de plus près à la réalité. Les modèles complexes sont souvent lourds à manipuler par contre les modèles plus simples s'étudient plus aisément, sans signifier que les problèmes à résoudre soient simples. D'après [8], le choix d'un modèle doit être un compromis entre son pouvoir d'expression et sa complexité.

## 9. Références

- [1] Alexis Drogoul; Systèmes multi-agents MIRIAD/OASIS/LIP6; Université Paris 6
- [2] Imed Jarras et Brahim Chaib-draa, *Aperçu sur les systèmes multiagents*. Série scientifique, Montréal, Juillet 2002
- [3] Innocent BAKAM TCHIAKAM , *Des systèmes multi-agents aux réseaux de pétri pour la gestion des ressources renouvelables*. Thèse de doctorant, Université de Yaoundé I, juin 2002.
- [4] Jean-Pierre Briot et Yves Demazeau, *Principes et architecture des systèmes multi-agents*, collection IC2, Hermès, 2001.
- [5] Dr. Jean-Paul Rodrigue, *Théorie des graphes: définition et propriétés* <http://www.geog.umontreal.ca/Geotrans/fr/ch2fr/meth2fr/ch2m1fr.html>, visité 12/02/2005
- [6] JENNINGS N.R., *On Agent-Based Software Engineering, Artificial Intelligence*, n°117, pages 277-296, 2000.
- [7] Marc Lebourges, *Modèle « Géométrie aléatoire et réseaux de télécommunication »* <http://www.cerma.archi.fr/inventur/inventur042.html>, France Télécom/BD/DPS/SPE, visité 24/02/2005
- [8] Sébastien CHOPLIN, *Dimensionnement de réseaux virtuels de télécommunications*, thèse, Université de Nice - Sophia Antipolis, 06 novembre 2002
- [9] WARREN Hioko, *Telecommunications*, Fouth Edition, Library of Congress Cataloguing in Publication Data, 2001