

Étude de la Performance de la Technique d'Accès multiple IDMA dans un Environnement MIMO

E.H.Meftah^{(1), (2)}, A.Anou⁽²⁾ et M.bensebti⁽²⁾

⁽¹⁾Institut des sciences et de la technologie
Université d'El Oued, El Oued, Algérie
B.P.789, 39000, Algérie

⁽²⁾Département d'électronique
Université SAAD DAHLEB de Blida, Algérie
Meftah2elhadi@yahoo.fr

Résumé—La technique d'accès multiple par entrelacement baptisée IDMA (Interleave Division Multiple Access) a récemment été proposée comme une alternative à la technologie CDMA, la séparation des utilisateurs dans l'IDMA y est mise en œuvre par le biais d'entrelaceurs, d'autre part les techniques multi-antennes (MIMO) présentent une grande diversité spatiale et temporelle et permettent à la fois d'augmenter la capacité de transmission de façon proportionnelle au nombre d'antennes à l'émission et à la réception. C'est dans ce cadre que nous avons essayé de combiner ces deux techniques, cela nous permettra de définir le modèle MIMO-IDMA qui a servi de base pour la simulation sur un canal de Rayleigh non sélectif à évanouissements indépendants (Rayleigh flat fading). Les résultats obtenus montrent que la performance du combinaison proposé est sensiblement meilleure que celle d'IDMA mono-antenne en terme de Bit Error Rate (BER).

Mots-clés — MIMO-IDMA; Alamouti; MUD; détection itérative.

I. INTRODUCTION

DANS un système de communication sans fil multi usagers, Le partage des ressources pourra se faire sur plusieurs dimensions: fréquentiel, temporelle, par code etc. On appelle cette allocation de ressources l'accès multiple. Plusieurs techniques d'accès multiples ont été proposées dans la littérature [1].

Une nouvelle technique de communication multi-utilisateurs baptisée IDMA (Interleave Division Multiple Access), proposée en 2002 par Li Ping et al. S'avère être un cas particulier de la technique d'accès multiple CDMA (Code Division Multiple Access)[2], à entrelacement chips. La principale caractéristique de la technique IDMA est l'utilisation d'entrelaceurs pour la séparation des signaux des différents utilisateurs. Le système utilise un récepteur basé sur le principe Turbo, qui permet de supprimer itérativement les interférences multi-utilisateurs grâce à un échange d'informations entre le détecteur et le décodeur de canal.

D'autre part et depuis quelques années, les techniques multi-antennes sont envisagées comme solution potentielle pour augmenter le débit des futurs systèmes de communications sans fils[3].

L'objectif de cet article est d'étudier et d'améliorer les techniques d'émission et de réception de ces systèmes MIMO (Multiple Input Multiple Output) dans un contexte multi-utilisateurs.

Le principal objectif de ce papier étant d'étudier les performances du système MIMO-IDMA associé à la turbo détection, en les comparant dans un premier temps à une référence représentée par le système d'accès multiple IDMA mono-antenne, ensuite aux différents taux de charges.

Le reste de cet article est organisé comme suit. La section suivante est consacrée aux détails du principe de la technique IDMA. La section III est destinée à détailler le modèle du système MIMO-IDMA, La section qui suite, consiste à exposer les résultats des simulations ainsi obtenus, et à évaluer les performances des différents systèmes étudiés en analysant les résultats obtenus par simulation. On termine par une conclusion en mettant en évidence les résultats obtenus ainsi les futures perspectives.

II. MODELE DU SYSTEME IDMA

En 2002, Li Ping et al [2] ont proposé une technique innovante IDMA, la principale caractéristique de cette technique est l'utilisation d'un seul code d'étalement pour les différents utilisateurs, ces derniers. Les différents utilisateurs sont alors séparés uniquement à l'aide des entrelaceurs spécifiques à chacun d'entre eux [4], La structure du système IDMA est donnée par la Fig. 1.

A. Structure de l'émetteur

On considère un système IDMA synchrone pour K utilisateurs émettant la même puissance, pour raison de simplifier l'étude théorique en se mettant dans le cas d'un mono-trajet utilisé est un canal à évanouissement de quasi-statistique de Rayleigh avec une modulation BPSK (Binary Phase Shift Keying).

Le système IDMA utilise un code constitué d'un code correcteur d'erreur FEC (Forward Error Correction) où d'un code d'étalement où d'une combinaison des deux [5]. La Fig. 2 montre la structure de l'émetteur IDMA pour un utilisateur k quelconque

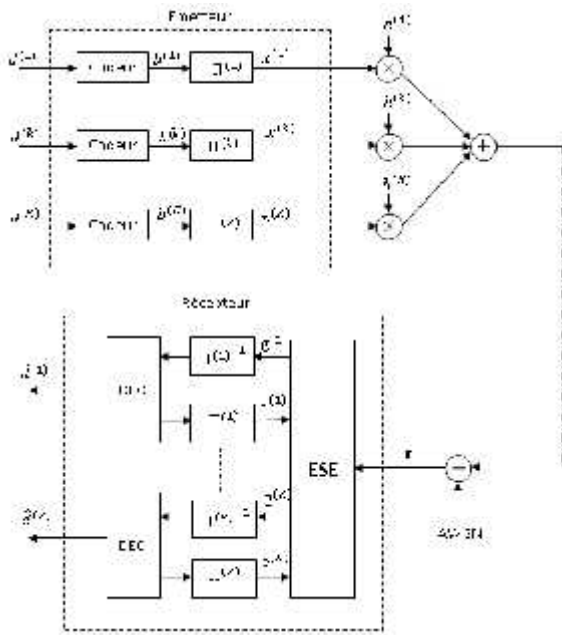


Fig. 1. Structure du système IDMA pour K utilisateurs.

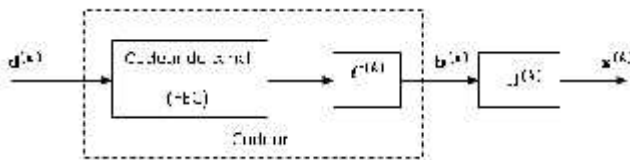


Fig. 2. Structure de l'émetteur IDMA pour un utilisateur quelconque

L'information $d^{(k)}$ provenant de l'utilisateur k est codée en une séquence de chips $b^{(k)}$. Ensuite, un entrelaceur aléatoire spécifique à chaque utilisateur permet de générer, à partir des chips codés, une séquence de entrelacés $x^{(k)} = \{x_j^{(k)}; j = 1, \dots, J\}$, où J représente la taille de la séquence des chips.

Le signal reçu correspondant à K utilisateurs est donné par :

$$r_j = \sum_{k=1}^K h_{(j,k)}^{(k)} x_j^{(k)} + w_j \quad j = 1, \dots, J \quad (1)$$

Avec $x_j^{(k)}$ est le $j^{\text{ème}}$ chip transmis par le $k^{\text{ème}}$ utilisateur, $h^{(k)}$ représente un effcient d'atténuation du canal pour le $k^{\text{ème}}$ utilisateur, les w_j sont les échantillons de bruit blanc réel additif gaussien, de moyenne nulle et de variance σ^2 , on note que les codes utilisés, dans un système IDMA sont donc des codes à répétition. Le $j^{\text{ème}}$ chip envoyé par le $k^{\text{ème}}$ utilisateur peut donc s'écrire:

$$x_j^{(k)} = x_{ms}^{(k)} = d_m^{(k)} \times c_s^{(k)} \quad (2)$$

Où $c^{(k)} = \{c_s^{(k)}; s = 1, \dots, SF\}$

B. Structure du récepteur

Etant donné que l'information émise est sous forme de chips, le récepteur utilise une stratégie de détection chip par chip. On note $g^{(k)} = \{g_j^{(k)}\}$ le logarithme du rapport de vraisemblance ou le LLR_{Ext} (Logarithm Likelihood Ratio) de $x_j^{(k)}$ fourni par le détecteur de chip gaussien nommé ESE (Elementary Signal Estimator). Durant le processus itératif de la turbo détection, la version désentrelacée de cette information extrinsèque est considérée comme information a priori pour les décodeurs DEC de type APP (A Posteriori Probability). Ces derniers vont, à leur part, générer un LLR_{Ext} à partir de $g^{(k)}$ noté $e^{(k)} = \{e_j^{(k)}\}$ en se basant sur la contrainte C du code. Ce LLR constitue Après un certain nombre d'itérations les décodeurs prennent des décisions dures sur les bits émis notés $\hat{d}^{(k)}$, enfin le récepteur permet d'estimer les bits envoyés à partir des chips reçus $r = \{r_j\}$, connaissant la contrainte C du code et les coefficients $\{h^{(k)}\}$.

1) Fonction du détecteur ESE:

L'information de retour fournie par le décodeur APP est considérée comme LLR a priori au niveau du détecteur ESE. A partir de l'équation (1) on peut écrire [2] :

$$r_j = h_{(j,k)}^{(k)} x_j^{(k)} + \xi_j^{(k)} \quad (3)$$

où

$$\xi_j^{(k)} = \sum_{\substack{p=1 \\ p \neq k}}^K h_{(j,p)}^{(p)} x_j^{(p)} + w_j \quad (4)$$

$\xi_j^{(k)}$ correspond au terme d'interférences plus bruit. En appliquant le théorème de la limite centrale, $\xi_j^{(k)}$ peut être approché à une variable aléatoire gaussienne. L'algorithme de détection chip par chip est résumé comme suit [2] [5].

a) Initialisation : à la première itération aucun LLR_{Ext} n'est disponible à la sortie du décodeur APP, le détecteur ESE ne dispose ainsi d'aucune information a priori. Tous les $e_j^{(k)}$ sont donc initialisés à zéro : $e_j^{(k)} = 0 \quad \forall k, j$.

b) Processus itératif :

- Première étape : estimation des interférences

$$\mu_j^{(k)} = \tanh \left(\frac{r_j - \sum_{m=1}^M h_{(j,m)}^{(m)} \mu_m^{(k)}}{2 \sigma^2} \right) \quad (5)$$

$$v_j^{(k)} = 1 - (\mu_j^{(k)})^2 = 1 \quad (6)$$

$$E(\xi_j^{(k)}) = E(r_j) - h_{(j,k)}^{(k)} \mu_k^{(k)} \quad (7)$$

$$\text{Var}(\xi_j^{(k)}) = \text{Var}(r_j - h_{(j,k)}^{(k)} \mu_k^{(k)}) \quad (8)$$

- Deuxième étape : annulation d'interférences et génération du LLR

$$g_j^{(k)} = 2h_j^{(k)} \frac{E_j - E_j^{(k)}}{\text{Var}(g_j^{(k)})} \quad (9)$$

Le LLR calculé par la dernière équation est fourni au décodeur pour calculer le LLR extrinsèque $e_j^{(k)}$. Une fois le $e_j^{(k)}$ trouvé, les calculs de l'équation (5) à l'équation (9) sont réitérés.

2) Fonction du décodeur APP :

Dans le cas d'un système non codé, l'opération de décodage se limite à un simple désétalement. Dans ce cas, les LLR $\{L^{(k)}\}$ obtenus par désétalement des $\{g_j^{(k)}\}$ sont considérés comme des LLR a posteriori du décodeur. Les LLR extrinsèques sont donnés par l'équation suivante :

$$e_j^{(k)} = L^{(k)} - g_j^{(k)} \quad (10)$$

Les $\{e_j^{(k)}\}$ sont ensuite entrelacés avant d'être traités par le détecteur ESE.

III. MODELE DU SYSTEME MIMO-IDMA

Les techniques MIMO sont apparus dans les années 90 grâce à deux chercheurs des laboratoires BELL, Foschini [6] et Teletar [7]. Ils ont démontré que la capacité des systèmes multi-antennes augmentait linéairement avec le nombre d'antennes émettrices.

Considérons un système MIMO avec M antennes à l'émission et N antennes à la réception. Chaque trajet entre une antenne émettrice et une antenne réceptrice peut être alors caractérisé par un gain complexe h_{ij} représentant le coefficient d'évanouissement entre l'i^{ème} émetteur et le j^{ème} récepteur, chaque antenne reçoit les symboles transmis simultanément par les M antennes émettrices. A la réception, on détecte un signal reçu r qui s'écrit comme suit:

$$r_j = \sum_{i=1}^M h_{ij} s_i + n_j \quad (11)$$

où n_j est le bruit additif gaussien associé à l'antenne de réception j suivant la loi normale de moyenne nulle et de variance σ^2 . L'équation (11) peut être formulée sous forme matricielle suivante :

$$r = H s + n \quad (12)$$

s : est le vecteur émis de dimension $[1 \times M]$ et n est le vecteur du bruit de dimension $[1 \times N]$.

Où H est la matrice du canal de taille M x N définie par l'ensemble des trajets :

$$H = \begin{bmatrix} h_{11} & \dots & h_{1M} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ h_{N1} & \dots & h_{NM} \end{bmatrix}$$

Afin d'améliorer la qualité de transmission, Alamouti [8], et Tarokh [9] ont conçu des systèmes basé essentiellement sur la diversité. Ce type de codage permet des communications plus sûres, il consiste à ajouter de la redondance aux données binaires émises, pour plus de détails sur les codes spatio-temporels STBC (Space Time Block Coding), se référer à [8], [9].

La Fig. 3 montre la structure de l'émetteur/récepteur avec k utilisateurs simultanés, où π_k est l'entrelacement de l'utilisateur k. Soit $d^{(k)}$ le flux de données de l'utilisateur k, ce flux est codé par un code correcteur d'erreur, et/ou un code d'étalement générant du chip $b^{(k)}$, puis ce dernier permuté par un entrelaceur k spécifique à l'utilisateur, après la modulation, la séquence de symboles $x^{(k)}$ est produite, ensuite ces flux sont additionnés et émis sur un canal d'atténuation plate par M antennes correspondante suivant un codage STBC.

Au niveau de réception, le décodage MIMO-STBC sur N groupe de flux est effectué avant la détection multi-utilisateurs comme le montre la Fig. 4, le signal reçu à l'instant n peut être exprimé comme suit:

$$r[n] = \sum_{k=1}^K H^{(k)} X^{(k)} + W[n] \quad (13)$$

$$r[n] = H^{(k)} X^{(k)} + \xi^{(k)} \quad (14)$$

$$\begin{aligned} \xi^{(k)} &= r[n] - H^{(k)} X^{(k)} \\ &= \sum_{p \neq k} H^{(p)} X^{(p)} + W[n] \end{aligned} \quad (15)$$

Les $\{H^{(k)}[n] = H_{Re}^{(k)}[n] + iH_{Im}^{(k)}[n]\}$ correspondent aux composantes de la matrice de canal MIMO de taille M x N par l'ensemble des trajets, et $X^{(k)}[n] = (X^{(k)}_1[n], \dots, X^{(k)}_M[n])^T$ c'est le vecteur de symboles transmis par l'utilisateur k, le vecteur $W[n] = (W_1[n], \dots, W_N[n])^T$ est le bruit additif gaussien associé à l'antenne de réception suivant la loi normale de moyenne nulle et de variance σ^2 . A partir du théorème de la limite centrale, $\xi^{(k)}[n]$ peut être approché à une variable aléatoire gaussienne.

L'information fournie au détecteur ESE est alors de même nature que celle du système multi-utilisateurs IDMA sur canal mono-trajet. Ainsi, afin de récupérer les informations venant de chaque utilisateur, le détecteur ESE estime

uniquement les interférences MAI pour permettre leur suppression du signal démodulé [10]. L'expression du LLR $\{g_j^{(k)} = g_{Re,j}^{(k)} + ig_{Im,j}^{(k)}\}$, correspondant au récepteur du système MIMO-IDMA pour un traitement série et une modulation QPSK est donnée comme suit :

$$g_j^{(k)} = 2H_{Re}^{(k)} \frac{r_{Re,j}^{(k)} - E(\xi_{Re,j}^{(k)})}{\text{Var}(\xi_{Re,j}^{(k)})} + 2H_{Im}^{(k)} \frac{r_{Im,j}^{(k)} - E(\xi_{Im,j}^{(k)})}{\text{Var}(\xi_{Im,j}^{(k)})} \quad (16)$$

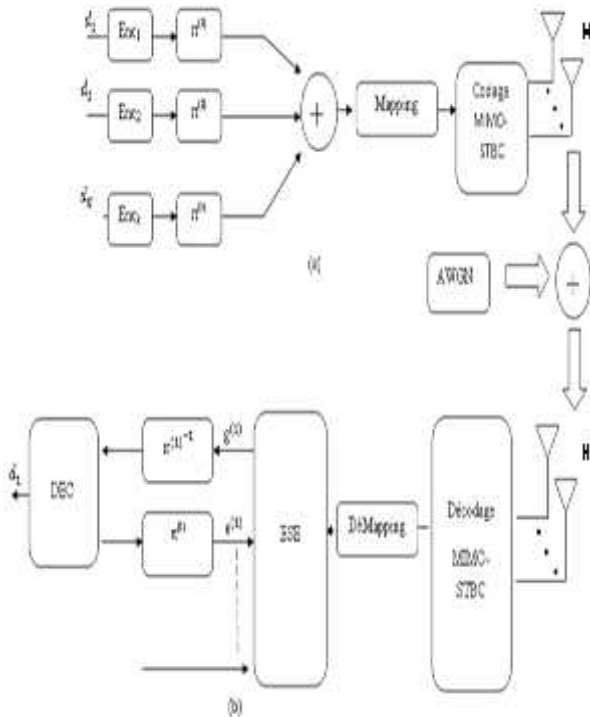


Fig. 3. Système MIMO-IDMA proposé : (a) émetteur, (b) récepteur

IV. SIMULATIONS ET RESULTATS

Dans la simulation suivante, on présente les performances du système MIMO-IDMA sur un canal quasi-statique de Rayleigh en l'absence de codage, et comparées au technique IDMA mono-antennes.

La Fig. 4 montre L'influence du nombre d'antennes à l'émission et le codage spatio-temporel sur les performances de détecteur itératif dans le système MIMO-IDMA, avec un nombre d'utilisateurs $K = 5$, pour une configuration Alamouti (2×1) [11], et le code d'étalement utilisés dans cette simulation sont des séquences aléatoires de longueur $SF = 32$. On remarque que les performances s'améliorent en augmentant le nombre d'antennes émettrices, et on voit bien que pour le cas où on a $M = 2$, le BER passe en dessous de

10^{-3} et on obtient un gain en puissance de l'ordre 3 dB, cela confirme l'effet multiplicatif de la diversité spatiale et temporelle.

Gardant même condition de simulation, la Fig. 5 donne les courbes du BER en fonction du SNR pour différents nombres d'utilisateurs, représenté par le taux de charge τ_c ($\tau_c = \frac{k}{sf}$), celui-ci varie proportionnellement avec le nombre d'utilisateurs et inversement avec le facteur d'étalement on remarque dans ce cas que le système MIMO-IDMA combat les interférences MAI même dans un canal surcharger en utilisateur ($\tau_c \geq 50\%$) grâce à la partie IDMA qui est basée sur les entrelaceurs pour distinguer les utilisateurs [10].

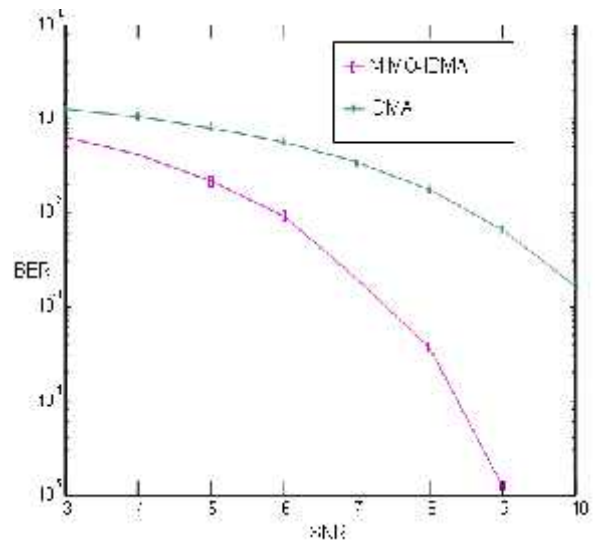


Fig. 4. Comparaison du système MIMO-IDMA, IDMA

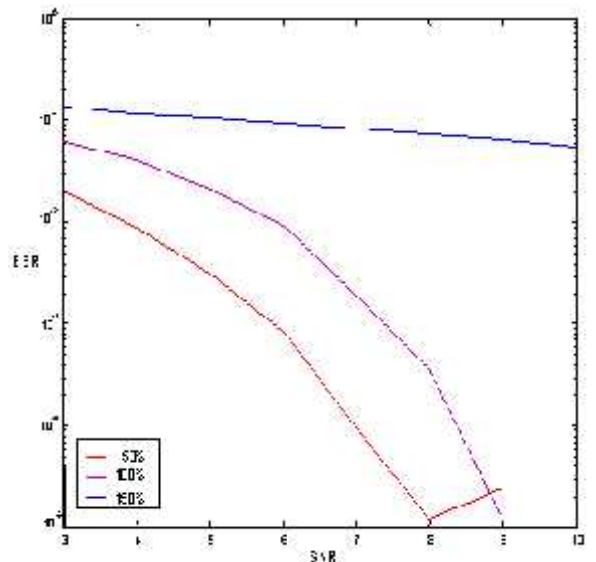


Fig. 5. L'influence de la variation du nombre d'utilisateurs sur les systèmes MIMO-IDMA

V. CONCLUSION

Ce travail a porté sur l'étude et l'optimisation de l'association de deux techniques actuellement très prometteuses, à savoir les systèmes à accès multiples par entrelacement, et les techniques de codage espace temps pour les systèmes MIMO. La première présente de nombreux avantages comme la diversité spatiale à l'émission et à la réception, et d'augmenter le débit de transmission des données, elle est fortement pressentie pour les futurs réseaux sans fil de quatrième génération (4G). La seconde quant à elle, promet de révolutionner les communications notamment les réseaux d'accès sans fil. En outre, on a constaté que la technique MIMO-IDMA avec diversité spatio-temporelle est plus performante que celui de l>IDMA[12], donc on peut dire que les performances du système augmentent avec la diversité spatio-temporelle, donc cette dernière reste une technique assez puissante pour lutter contre les évanouissements due au canal.

Une expansion possible de ce travail serait d'inclure une technique qui combatte l'effet d'interférence entre les symboles comme l'OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing), l'étude des systèmes MIMO- OFDM dans un contexte multi-utilisateurs IDMA est une étape qui pourrait également compléter ce travail.

REFERENCES

- [1] J.Proakis, *Digital communications*, ser.Mc Graw-Hill series in electrical And computer engineering. McGraw-Hill,1989
- [2] Li Ping, K. Y. Wu, Lihai Liu and W. K. Leung,"A simple unified approach to nearly optimal multiuser detection and space-time coding, Information Theory Workshop,"*ITW2002*, Inde, 20-25 October 2002.
- [3] D. Gesbert and J. Akhtar, "Breaking the barriers of Shannon's capacity: An overview of MIMO wireless system", *Teletronikk Telenor Journal*, January 2002.
- [4] L. Ping, L. Liu, K. Wu, and W. Leung, "Interleave division multiple access," *Wireless Communications, IEEE Transactions on*, vol. 5, no. 4, pp. 938 ñ 947, april 2006.
- [5] L. Liu, J. Tong, and Li Ping, "Analysis and optimization of CDMA systems with chip-level interleavers," *IEEE J. Select. Areas Commun.*, vol. 24, pp. 141-150, Jan. 2006.
- [6] G. J. Foschini and M. J. Gans, "On limits of wireless communications in a fading environment when using multiple antennas", *Wireless Personal Communications*, Vol. 6, No. 3, March 1998, pp. 311-335.
- [7] I. E. Telatar, "Capacity of multi - antenna Gaussian channels", *European Transactions on Telecommunications*, Vol. 10, No. 6, 1999, pp. 585-595.
- [8] S. M. Alamouti, "A Simple transmit diversity technique for wireless communications", *IEEE Journal on Selec. Areas in Comm*, Vol. 16, No. 8, 1998, pp. 1451-1458.
- [9] V. Tarokh, H. Jafarkhani, and A. R. Calderbank, "Space-time block codes from orthogonal designs," *IEEE Trans. Inf. Theory*,vol. 45, pp. 1456-1467, July 1999.
- [10] C.Novak, F.Hlawatsch, and G. Matz, "MIMO-IDMA:Uplink multiuser communications using interleave-divison multiple access and low-Complexity iterative receivers", *IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing*, 2007 (ICASSP2007), Vol.3, pp 225-228,15-20 Apr. 2007.
- [11] S.Yang, W.Xu, L.Wang and Q.Wei, "Performance of STBC-IDMA system over quasi-static Rayleigh fading channel",*ICCCAS*,pp.44-47,May 2008.
- [12] B.Zhang, K.Niu and Z.He, "Relaying scheme based on IDMA for MIMO Relay networks", *WICOM*, pp.1-4, Sept. 2009.