論 文 内 容 の 要 旨

氏 名 (楊 華)

論文題名

A Study on Distributed Mobility Management Scheme in Mobile Networks
(モバイルネットワークにおける分散型端末移動管理に関する研究)

論文内容の要旨

Recently, with proliferation of IoT and M2M technologies, mobile and wireless communication systems are experiencing challenges of exploding mobile data traffic, considerable number of devices, and heterogeneous applications. On the other hand, as Average Revenue Per User (ARPU) of M2M terminal devices is much lower than cellular phones, it is required to reduce the communication and management cost in mobile networks to accommodate considerable number of M2M terminal devices.

To tackle this problem, we propose a novel architecture of autonomous and adaptive distribution of mobility management functions on nodes in a mobile network and allocate servers in accordance with UE mobility characteristics and a management policy, which contributes to improve the performance of mobile network systems by considerably reducing the C-plane communication and management cost. Specifically, we propose a distributed mobility management scheme which can be realized on the current hierarchical architecture of 3.9G LTE/EPC networks.

U-plane of the current 3.9G LTE/EPC network has a functional and structural hierarchy comprised of a PGW providing connectivity from UEs to external networks, SGWs working as local mobility anchor points for intra-system handovers, and base stations called eNBs. In addition, an MME (Mobility Management Entity) usually deployed together with SGWs performs C-plane mobility management for all UEs in the corresponding Tracking Area. To mitigate concentration of control traffic at MMEs, we propose a virtualized MME, called ADMME (Autonomous Distributed Mobility Management Entity) which can be configured at any nodes of a PGW, SGWs and eNBs. For adaptive selection of ADMMEs according to the dynamically changing UE mobility and load status, we adopt a bio-inspired adaptation algorithm called attractor selection, which is a mathematical model of adaptive behavior of biological systems to dynamically changing environmental conditions. In this model, a dynamic system finds a solution to maximize a scalar, called activity, which expresses the goodness of the current solution for the current conditions. In our scheme, by defining the activity based on multiple performance measures, each ADMME dynamically makes a decision on delegation of mobility management. Through simulation experiments, we confirmed that our proposal could accomplish lower delay, higher load balancing, and lower C-plane overhead comparing to other methods including the current standard under three mobility scenarios.

However, because of the hierarchical LTE/EPC architecture, the control messages are sent from UEs along the hierarchy, e.g. eNB->SGW->PGW->SGW. As a result, the system performance has notable limitations on reduction of response delay and C-plane overhead. Therefore, next we design a novel flat architecture which is comprised of a RO (Regional Office) corresponding to a central office of PGW, LOs (Local Offices) serving local areas, and APs (Access Points) corresponding to eNBs. Moreover, MAs (Mobility Anchors) used for U-plane anchor points are deployed in LOs. For the sake of more flexible and dynamic distribution and allocation of C-plane management tasks, we split mobility management functions of the LTE/EPC MME into two parts, i.e. VDMMEs (virtualized and distributed mobility management entities) and DMDs (distributed mobility databases), and distribute them over a mobile network. For autonomous and adaptive allocations of VDMMEs/DMDs taking into account UE mobility characteristics and network status in our flat mobile network, we adopt the response threshold model which is a mathematical model derived from self-organized division of labor in social insects. In the model, each individual autonomously and stochastically determines whether to perform a task or not depending on the stimulus or demand of the task and its inherent threshold or hesitation against the task. In our scheme, we extend the model to incorporate multiple factors, such as delay, number of candidates, and C-plane overhead. We confirmed that our proposal can mitigate delay to the half or even one-fifth and C-plane overhead by more than 41.7% from a partial distributed mobility management scheme proposed in other literature through simulation experiments under three mobility scenarios.

In this thesis, we proposed novel architectures and schemes for distributed mobility management both in the current 3.9G LTE/EPC networks and a flat architecture leaving away the current standards. Our main idea is to adopt bio-inspired algorithms to accomplish autonomous decision-making by individual servers and mitigate C-plane overhead. Based on obtained results we confirmed superiority of our proposals to other existing methods, which open up new perspectives on architecture design of a sustainable mobile core network.

様式 7

論文審査の結果の要旨及び担当者

氏　名（　楊　華　）		
	（職）	氏　名
論文審査担当者	主 査　教授	若宮 直紀
	副 査　教授	松田 秀雄
	副 査　教授	清水 浩
	副 査　教授	前田 太郎

論文審査の結果の要旨

本論文は、端末移動管理の分散化によってモバイルネットワークにおける端末数や移動特性の多様化に伴う制御オーバヘッドを削減、抑制するためのネットワークアーキテクチャ、分散型移動管理機構ならびにアルゴリズムを研究したものである。

第1章では、IoT（Internet of Things）やM2M（Machine-to-Machine）技術の発展に伴って、現行の3.9G LTE/EPCネットワークの階層型アーキテクチャおよび端末移動の集中管理では多大な制御オーバヘッドが生じるという問題が指摘され、分散型の端末移動管理が必要であることが述べられている。

この問題を解決するため、第2章では、現行システムとの親和性を考慮し、標準技術をベースとした分散型端末移動管理手法を提案している。具体的には、MME（Mobility Management Entity）と呼ばれる端末移動管理機能を仮想サーバとして仮想化することでモバイルネットワーク内での柔軟な機能配置を可能にするとともに、端末の移動特性に応じた適切な仮想サーバを選択する機構ならびにアルゴリズムを提案している。提案アルゴリズムでは、生物の動的な環境適応の仕組みの数理モデルであるアトラクタ選択モデルを応用することで動的かつ適応的なサーバ選択を実現しており、シミュレーションによりその有効性を示している。様々な移動特性を有する端末が混在するというより現実に近い評価条件においては、現行手法、遅延最小化手法、制御オーバヘッド最小化手法などと比較して応答遅延と制御オーバヘッドが低減されると同時にサーバ負荷の公平性が向上しており、現行システムが直面する課題の解決に極めて有効である。

さらに第3章では、より柔軟な分散型の端末移動管理の実現のため、非階層型のモバイルネットワークアーキテクチャを設計し、そのもとで新たな分散型端末移動管理手法を提案している。提案手法では、端末移動管理機能に加えて端末情報を保持するデータベースも仮想化し、個々の端末の移動特性に応じて適切なそれぞれの仮想サーバを割り当てている。モバイルネットワークアーキテクチャが平坦化されたことによって、端末に割り当てる仮想サーバの選択肢が増えるため、本章では生物の群れにおける自己組織的な役割分担の仕組みの数理モデルである反応閾値モデルを応用したサーバ選択アルゴリズムを新たに提案している。同様に非階層型モバイルネットワークにおいて分散型端末移動管理を行う既存手法とのシミュレーション比較によって、異なる移動特性の端末が混在する評価条件において、応答遅延と制御メッセージ量が大きく低減することが示されており、既存手法を大きく上回る性能を達成している。

第4章では、本論文で得られた知見をまとめ、今後の展望を述べている。

本論文では、上記のように、端末の移動管理の分散化により制御オーバヘッドと制御遅延を大きく低減し、現行よりも多数で多様な端末を収容することのできるモバイルネットワークを実現する分散型端末移動管理手法が確立されており、その有効性、有用性は極めて高いと言える。よって、博士（情報科学）の学位論文として価値のあるものと認める。