Vol.2012-DPS-152 No.25
Vol.2012-GN-85 No.25
Vol.2012-EIP-57 No.25
2012/9/14

GALMA：地理的に集約可能な位置依存マルチキャストアドレスの設計

岡田 和也[1,a)]　奥田 剛[1,b)]　山口 英[1,c)]

概要：携帯端末の普及に伴い，端末の位置に応じた情報の配信が重要になってきている．既存手法は，アプリケーション毎に端末の現在位置をサーバ側へ通知している．サーバ側からは，各端末上で動作しているアプリケーションからの通知無しに端末の現在位置を知ることはできない．これに対して本研究は，アプリケーションに依存せずに端末の位置に応じた情報配信を実現する Location Based Multicast (LBM) を提案する．LBM では，IP 層で位置を反映した識別子を定義し IP 経路制御の仕組みによって配信を実現することを目指す．本論文では，端末の位置を反映したアドレス (GALMA) の設計と，GALMA を位置情報から生成する手法を提案する．さらに，位置依存マルチキャストに必要な諸機能について考察する．

キーワード：位置情報，マルチキャスト, IPv6

GALMA : Design of Geographically Aggregatable Location based Multicast Address

Kazuya Okada[1,a)]　Takeshi Okuda[1,b)]　Suguru Yamaguchi[1,c)]

Abstract: Location based services(LBS) become popular in our daily life. Current LBS mainly use a device location that acquired by GPS or 3G on user devices. The location information is notified from the device to the service provider. LBS can not work without the notification from the device, because there are no way for the provider to know the location of the user. In this paper, we propose Location Based Multicast (LBM) that is a new information delivery and communication method based on the users' location. Our approach is to implement the location based identifier on IP layer and delivery the data with IP network routing scheme. In this paper, we propose the address assignment scheme called GALMA that enables aggregatable location based IP multicast. We describe our principle of the address design and address generating algorithm. Additionally, we also discuss other technologies related to our approach.

Keywords: Location Information, Multicast, IPv6

1. はじめに

スマートフォンの普及に伴い位置情報サービス (LBS:Location Based Service) が一般的になってきている．LBS では，スマートフォンに搭載された GPS（全地球測位システム:Global Positioning System），3G（第 3 世代通信）により取得される端末の位置情報を利用する．各アプリケーションでは，端末の位置情報を元に地図の提示，目的地までの経路案内，周辺施設検索といったサービスを利用者に提供している．こうしたサービスでは，端末の位置を正確に把握することが重要である．そこで，端末で取得する位置情報の精度向上を目指した取り組みがされている．我が国では，GPS 精度の向上を目指し準天頂衛星「みちびき」[1] の試験運用を開始している．今後，残りの 2 基も打ち上げられれば，都内の高層ビル群の間でも精度 1$[m]$ で位置情報を取得できるようになる．こうした技術を利用

[1] 奈良先端科学技術大学院大学 情報科学研究科
Takyama-cho 8916-5, Ikoma, Nara 630–0101, Japan
[a)] kazuya-o@is.naist.jp
[b)] okuda@is.naist.jp
[c)] suguru@is.naist.jp

© 2012 Information Processing Society of Japan

Vol.2012-DPS-152 No.25
Vol.2012-GN-85 No.25
Vol.2012-EIP-57 No.25
2012/9/14

することで，より精度の高い位置情報による LBS が提供可能になるとが想像される．

既存の LBS では，端末で位置情報をアプリケーション毎に別で取得し各サーバに送信する．サーバは，受信した位置情報を元にそれぞれの機能を利用者に提供している．LBS は，端末からサーバへの位置情報の通知無しにはサービスを提供することができない．また，端末の位置情報は，アプリケーション毎に取得されサーバへ送信されている．そのため，利用者が同じ場所にいてもアプリケーション毎に同じ位置情報をそれぞれのサーバに通知しなければならない．

本研究は，端末からサーバへの位置情報通知なしにサーバから端末の位置に応じた情報を提供可能な位置依存マルチキャスト (LBM:Location Based Multicast) を提案する．LBM は，IP 層で端末の位置に依存したマルチキャスト通信を実現する通信方式である．LBM は，端末の位置情報を元に通信用 IP アドレスを生成し，その端末のマルチキャスト用アドレスとする．サーバは，宛先に対象地域・範囲に該当するマルチキャストアドレスを指定することで，対象範囲内の全ての端末に配信できる．このマルチキャストアドレスは，GALMA(Geographically Aggregatable Multicast Address) と呼ぶ．GALMA は，アドレス表記のみで位置・範囲を指定することができる．

この通信方式の応用としては，特定の場所・範囲に存在する端末への問い合わせを想定している．従来の方式では，端末からサーバへの位置情報の通知がなければ対象範囲にいる端末を特定できない．別の方式としては，ネットワーク上の全ての端末に対してサーバから位置情報を問い合わせる方式（ブロードキャスト）もある．しかし，アプリケーションが必要とする範囲に存在する端末は全端末の総量に対して少数であり，全端末との通信することで無駄が多くなる．提案方式において問い合わせ要求は，ルーティングにより対象範囲内の端末にのみマルチキャスト配信される．そのため提案方式では，対象範囲外の端末への配信を抑制できる利点がある．

本論文では，LBM において端末の位置を識別するために用いる GALMA の設計について述べる．第 2 節では，本研究の目標とする LBM の全体像を述べ，要求事項を挙げる．第 3 節では，LBM を実現するためのアドレス設計を述べる．第 4 節では，GALMA を利用した際の効果について述べる．第 5 節では，LBM を実現する際の検討事項について議論する．第 6 節では，本研究に関係する研究について述べる．

2. 要件定義

本節では，本研究が目標とするネットワークと対象アプリケーションを説明する．本研究が目指すネットワークは，端末の位置情報に基づいて配信する位置依存マルチキャスト (LBM : Location Based Multicast) である．

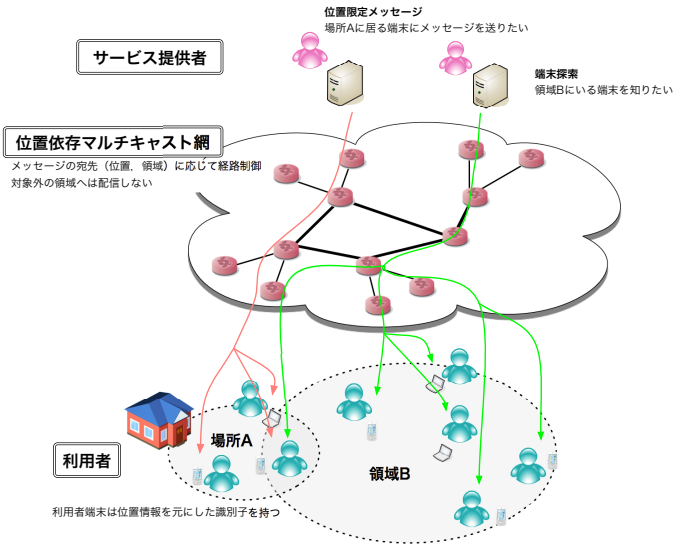


図 1 Location Based Multicast Network
Fig. 1 Location Based Multicast Network

2.1 LBM:Location Based Multicast

図 1 は，LBM の概念図である．LBM は，利用者（端末），サービス提供者，位置依存マルチキャスト網から構成される．

サービス提供者は，特定の場所，範囲を指定したメッセージを送信する．このメッセージを位置依存マルチキャスト網は，指定された場所，範囲まで転送する．LBM は，転送されてきたメッセージを対象場所，範囲内にいる利用者の端末へ配信する．利用者は，スマートフォン，PC といった端末を携帯している．

LBM は，下記の様な二つのアプリケーションへの応用を想定している．一つは，位置指定メッセージ配信である．位置指定メッセージ配信は，特定の場所，範囲にいる利用者に限定してメッセージを配信する．例えば，利用者の位置に応じた広告，障害情報配信に活用できる．

二つ目は，特定の範囲に存在する端末の探索である．これは，ある特定の範囲に存在する端末を，端末側からの通知無しに探索する仕組みである．例えば，東京都大手町周辺に居る端末のセンサ情報を取得するようなサービスに適応可能である．

既存手法では，上記二種類のサービスを端末が自身の位置情報をサーバへ通知することで実現している．LBM は，端末からの通知無しにこれらのサービスを実現する．

2.2 LBM の要件

本節では，前述の LBM を実現するための要件を述べる．前提条件として，利用者の端末は GPS，携帯通信網 (3G, 4G) から位置情報を取得できるものとする．尚，本論文において位置情報とは，WGS84 形式で表記される緯度，経

© 2012 Information Processing Society of Japan

度の組合せである．LBM は，インターネット・プロトコル・スイートの IP 層へ実装する．これは，アプリケーションから独立し通信網側が自律的に LBM サービスの提供を目指すためである．以上を前提条件とし，LBM を実現するための要件を下記に挙げる．

(1) 位置を反映した識別子
LBM は，端末の実世界での位置に応じて情報を配信する．そのため，位置を端末の識別子として利用する．既存のネットワークは，IPv4/IPv6 アドレスを端末の識別子としている．これらのアドレスは，位置情報を識別子に反映させる仕組みがない．その為，位置情報を識別子として利用するには，位置情報を元にした新たな識別子の設計が必要である．また，位置情報からその識別子を生成するしくみも同時に必要である．

(2) 場所・範囲の指定
LBM は，場所・範囲を指定したマルチキャスト通信である．この際に配信対象の場所・範囲を指定できる仕組みが必要である．

(3) 経路制御
LBM では，新たに位置を反映した識別子を導入する．識別子に基づいたマルチキャスト通信を行うためには，IP ネットワーク上でこの識別子に基づいた経路制御が必要である．

(4) 経路交換
サービス提供者は，特定の通信網だけに存在するとは限らない．組織 (AS) に非依存にサービスを提供するためには，AS 間で相互接続する必要がある．この際に各 AS 配下に収容されている端末の識別子情報（経路）を互いに交換する必要がある．

(5) 移動性
利用者は，日常生活の中で移動している．そのため，端末の識別子は，端末の位置が変われば追従して変更しなくてはならない．端末が接続している通信網側は，移動する端末を認識し，移動した端末に対する配信を止める必要がある．また，常に端末が単一のネットワーク網に接続しているわけではない．端末が同じ位置にいる場合には，端末の通信網が切り替わった場合も同じ情報が配信されなければならない．

本論文では，上記の要件の内，位置情報を反映した端末の識別子をどのように実現するかを述べる．その他の事項についても第 5 節で検討事項として議論する．

3. GALMAの提案と設計

本研究は，LBM の要件を満たす識別子として GALMA(Geographically Aggregatable Location Multicast Address) を提案する．本節では，LBM で端末の識別子に用いる GALMA の仕組みと設計について述べる．

3.1 識別子（アドレス）の要件

LBM の要件より識別子は，端末の位置を反映しなければならない．また，識別子は地球上のあらゆる位置に対して一意でなければならない．

LBM では，マルチキャスト通信を実現する．従って通信は，一対一ではなく一対多で行われる．マルチキャストの対象となる端末は，指定された位置に存在する端末，指定された領域内に存在する端末群である．IP Multicast では，グループ ID を用い，端末が必要とするグループ ID に join することでグループ内でのマルチキャスト通信を実現する．LBM では，グループ ID ではなく”特定の位置，領域にある端末全て”を宛先としたマルチキャスト通信を実現しなければならない．また，マルチキャストの範囲は，それぞれの位置情報サービスによって大きく異る．サービスには，施設を対象とするものもあれば，街，市，県といった範囲を対象とするものもある．従って，識別子は，柔軟に宛先の領域を設定できるようにしなければならない．

IP ネットワークでは，各ルータが保持する経路数の増加を防ぐために経路集約が行われている．経路集約は，複数のネットワークセグメントを集約し一つの経路とする．例えば，{192.168.1.0/24, 192.168.3.0/24, 192.168.7.0/24} という三つの経路を {192.168.0.0/22} という一つの経路に集約する．LBM では，端末の位置に基づいた識別子を付与し，且つその識別子をアドレスとして IP ネットワークで経路広告する．広告されるアドレス数は，端末が異なる位置にいる場合に端末数だけアドレスが生成され広告されることになる．従って，LBM では，IP ネットワーク同様に経路数の増加問題が発生する．

また，IP ネットワークでは，予めネットワークセグメントを割り当てて経路制御を行う．しかし，GALMA は，ネットワーク側で設定するのではなく端末が動的に生成する．そのため，事前にアドレスを把握して経路制御を設定することはできない．従って，アドレスを集約するには，動的に経路集約を行う仕組みが求められる．

GALMA は，カルノー図に着想を得て端末に一意なアドレスを割り当てる．また，経路集約をカルノー図の特徴を応用した階層を定義することで実現する．GALMA という名前は，階層構造を用いてアドレスを集約できる点 (*Geographically Aggregatable*) に由来する．

3.2 GALMA の仕組み

LBM の要件を満たす識別子は，位置とアドレスを一意に対応づけなければならない．そこで，GALMA は，カルノー図 (Karnaugh Map) に着想を得た領域の分割によりアドレスを生成する．カルノー図は，論理回路設計時において論理式の簡略化に用いられる手法である．本小節では，カルノー図の概要を説明し，位置からアドレスへの変換方法を述べる．また，カルノー図の特徴を利用した階層構造

© 2012 Information Processing Society of Japan

Vol.2012-DPS-152 No.25
Vol.2012-GN-85 No.25
Vol.2012-EIP-57 No.25
2012/9/14

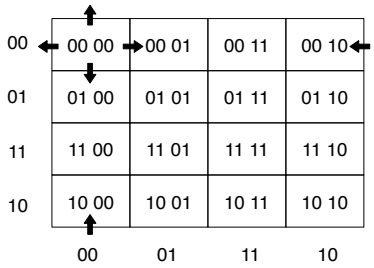


図 2 カルノー図（4 変数）
Fig. 2 Karnaugh Map (cases of 4 values)

を定義することにより，アドレス表記のみによる範囲指定の実現方法を述べる．

3.2.1 カルノー図

カルノー図は，論理回路設計の際に論理式の簡略化に用いられる方法である．図 2 は，4 変数のカルノー図を図示したものである．カルノー図では，上下左右方向の隣り合うグリッドに割り当てられた値同士でハミング距離が 1 となる．また，各グリッドの値は縦，横の変数を組み合わせた交番二進符号となる．

3.2.2 カルノー図を用いたアドレス割り当て

本小節では，前述のカルノー図の特徴を利用したアドレスの割り当てを提案する．提案手法の GALMA は，カルノー図に地球上の地点を対応づけることでアドレスを割り当てる．カルノー図を用いて地球上をグリッドに分割することで，任意の地点をカルノー図内のグリッド番号として表現できる．

図 3 は，地球全体を緯度，経度方向に 16 分割（4 変数）と 64 分割（6 変数）した例である．GALMA では，分割時に変数が大きくなるほどグリッドの粒度は細かくなる．

3.2.3 階層の定義

GALMA は，カルノー図での変数を大きくし分割数を増やすとグリッドが細かくなる．単位グリッド当たりの領域は，分割数が大きくなるに従って小さくなる．GALMA では，変数の値を階層数とする．

ある階層のグリッドは，必ず他の階層の別のグリッドに対応付けられる．上位の階層では，そのグリッドを包含する大きなグリッドに対応付けられる．下位の階層では，そのグリッドより更に細かく分割されたグリッドに対応付けられる．

表 1 は，階層を 1 から 22 まで変化させた際の単位グリッド当たりの緯度，経度の大きさである．分割数は，階層番号 n に対して 2^n 個となる．最下層の 22 階層目では，単位グリッド大きさが約 $10[m^2]$（赤道付近）となる．グリッドの大きさは，地球の曲面の影響を受けて北極，南極の極付近と赤道付近とで異なる．

図 4 は，22,21,20,19 の各階層にどのように対応付けられるかを表したものである．22 階層目のグリッドは，上位層の 21 階層のグリッドに近傍の他の 3 つのグリッドと共に包含される．同様に各階層のグリッドは，上位層のグリッドに包含される．

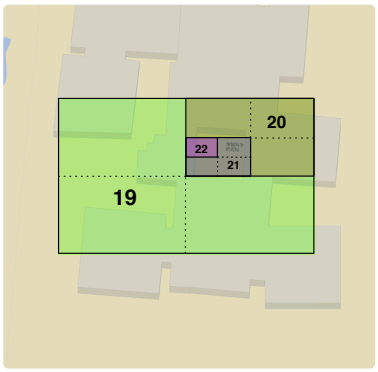


図 4 階層の例
Fig. 4 Example of Layering

3.3 アドレス生成方法

本小節では，緯度経度からカルノー図上のグリッド ID への変換方法を説明する．まず，端末の現在地情報（緯度 C_{lat}，経度 C_{lon}）は，GPS もしくは 3G から取得されるものとする．緯度，経度の測地系は，世界測地系 (WGS84) を想定する．予め緯度側の階層 D_{lat}，経度側の階層 D_{lon} は，与えられるものとする．

まず，式 1,2 で緯度，経度をそれぞれ $0° - 180°$，$0° - 360°$ に正規化する．次に，式 4 より緯度方向，経度方向のグ

表 1 階層
Table 1 level

階層	分割数	単位経度	単位緯度
1	2	180.0	90.0
2	4	90.0	45.0
3	8	45.0	22.5
4	16	22.5	11.25
5	32	11.25	5.625
6	64	5.6250	2.8125
7	128	2.81250	1.406250
8	256	1.406250	0.7031250
9	512	0.7031250	0.3515625
10	1024	0.35156250	0.1757812
11	2048	0.175781250	0.087890625
12	4096	0.0878906250	0.04394531250
13	8192	0.043945312500	0.021972656250
14	16384	0.021972656250	0.010986328125
15	32768	0.010986328125	0.005493164063
16	65536	0.005493164063	0.002746582031
17	131072	0.002746582031	0.001373291016
18	262144	0.001373291016	0.000686645508
19	524288	0.000686645508	0.000343322754
20	1048576	0.000343322754	0.000171661377
21	2097152	0.000171661377	0.000085830688
22	4194304	0.000085830688	0.000042915344

© 2012 Information Processing Society of Japan

Vol.2012-DPS-152 No.25
Vol.2012-GN-85 No.25
Vol.2012-EIP-57 No.25
2012/9/14

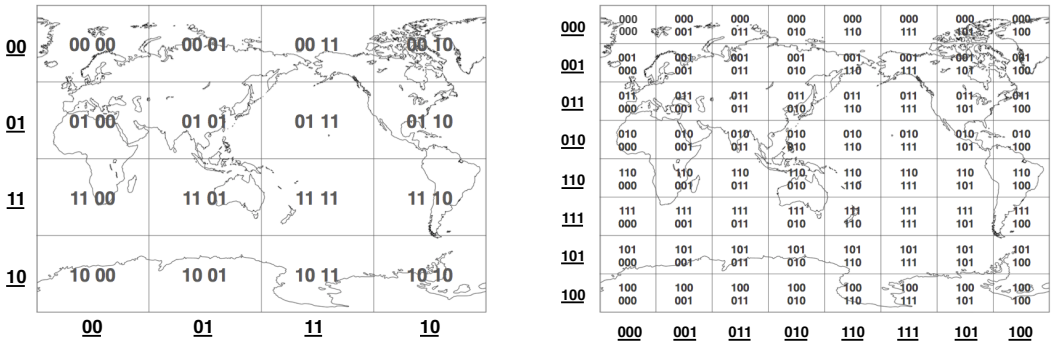


図 3 カルノー図による領域分割（4 変数，6 変数）
Fig. 3 Area dividing by Karnaugh Map (cases of 4 and 6 values)

リッド番号 CID_{lat}, CID_{lon} を求める．

次に，カルノー図における緯度経度のグリッド番号（交番二進符号）を求める．ある整数値の交番二進符号は，対象数値とその数値を 1bit シフトした値の排他的論理和により得られる．これを利用し式 5，6 によりグリッド番号の交番二進進符号での値 G_{lat}, G_{lon} を得る．得られた G_{lat}, G_{lon} のビット列を上位ビットから交互に並べたもの（式 9）を Loc_{id} とする．

C_{lat} ：現在地の緯度
C_{lon} ：現在地の経度
D_{lat} ：緯度方向の階層
D_{lon} ：経度方向の階層

$$C'_{lat} = C_{lat} + 90 \tag{1}$$

$$C'_{lon} = \begin{cases} C_{lon} & (C_{lon} < 0°to180°E) \\ 360 - C_{lon} & (C_{lon} < 0°to180°W) \end{cases} \tag{2}$$

$$CID_{lat} = \frac{C'_{lat} \times D_{lat}}{360} \tag{3}$$

$$CID_{lon} = \frac{C'_{lon} \times D_{lon}}{180} \tag{4}$$

G_{lat} ：緯度方向のグリッド ID（ビット列）
G_{lon} ：軽度方向のグリッド ID（ビット列）
$BINARY(V)$ ：入力値 V の二進数を返す関数

$$G_{lat}=BINARY(CID_{lat}) \oplus BINARY(CID_{lat})>>1 \tag{5}$$

$$G_{lon}=BINARY(CID_{lon}) \oplus BINARY(CID_{lon})>>1 \tag{6}$$

$$G_{lat} = [g_{lat1}, g_{lat2}, \ldots, g_{lat22}] \tag{7}$$

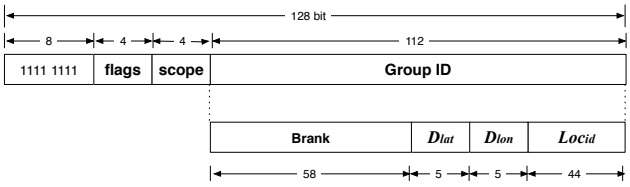


図 5 GALMA の構造
Fig. 5 Address Structure of GALMA

$$G_{lon} = [g_{lon1}, g_{lon2}, \ldots, g_{lon22}] \tag{8}$$

$$Loc_{id} = [g_{lat1}, g_{lon1}, g_{lat2}, g_{lon2}, \ldots, g_{lat22}, g_{lon22}] \tag{9}$$

GALMA は，上記の手順で生成された Loc_{id} を IPv6 アドレスに埋め込むことで生成する．アドレスは，図 5 に示すように IPv6 マルチキャストアドレスの Group ID(112bit) に Loc_{id} と緯度，経度方向の階層 D_{lat}, D_{lon} を埋め込む．階層は最大 22 であるため，ビット数はそれぞれ 5bit ずつ合計 10bit を割り当てる．Loc_{id} と D_{lat}, D_{lon} の合計ビット数は，54bit となる．Group ID の残りの 58bit は，空白部分とし 0 で埋める．

3.4 アドレス・経路集約

GALMA は，それぞれの端末で生成されることを前提としている．LBM では，それらの経路情報を広告しマルチキャスト通信を可能にしなければならない．しかしながら，端末の台数が増えると生成されるアドレスも比例して増加する．

カルノー図の分割では，n 階層の一つのグリッドが $n+1$ 階層では四つのグリッドに分割される．この四つのグリッド ID の先頭 $n$bit は，n 階層目のグリッドと共通している．GALMA では，この階層間のグリッド ID の特徴を生かして複数のアドレスを一つのアドレスに集約する．例えば，図 3 の 6 変数 (3 階層，L3) と 4 変数 (2 階層，L2) のカルノー図間でどのように集約されるかを考える．図 6 は，L3 の四つのグリッド {**000 000**, **000 001**, **001 000**, **001 001**} が L2 の一つのグリッド {**00 00**} に集約されることを示している．2 階層で集約される 3 階層のグリッド ID は，グリッド ID の緯度，経度の上位から 2 ビットが等しいこと

© 2012 Information Processing Society of Japan

Vol.2012-DPS-152 No.25
Vol.2012-GN-85 No.25
Vol.2012-EIP-57 No.25
2012/9/14

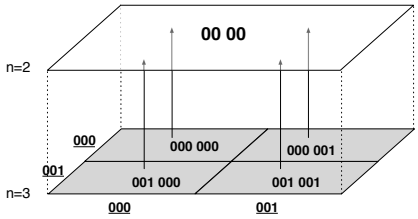


図 6 階層間におけるグリッドの包含関係
Fig. 6 Hierarchical Inclusion Relationship of Grids

がわかる．上記の例では，四つのアドレスを一つのアドレスで表現可能になる．

図 7 は，実世界の四地点の階層的アドレス集約の例である．四地点は，22 階層 (L22) で異なるアドレスを持っている．図中で **Building A, B** の二地点のアドレスは，L17 で共通のグリッドに包含される．この時 L17 のアドレスは，L22 で生成した **Building A, B** それぞれのアドレスの先頭 17bit が共通している．**Building A, B, C, D** の四地点は，L16 で共通の一つのグリッドに包含される．このグリッドのアドレスは，L22 で生成したそれぞれのアドレスの先頭 16bit で表される．

任意の階層 n での地点のアドレスは，アドレスの先頭から n bit を抽出することで生成できる．GALMA では，この特性を利用することで，アドレス表記によるアドレス集約を実現する．端末の収容ルータは，集約により個別端末数分のアドレスを広告する必要がなくなり経路数を削減できる．

4. 階層的アドレス集約手法の効果

本節では，階層的なアドレス集約手法の集約効果を示す．評価は，大規模に収集された位置情報のデータを GALMA により各階層のアドレスに変換し，変換されたアドレス数，各アドレスに変換された位置の数を基にする．

位置情報データは，東京大学空間情報科学研究センター [2] が提供しているパーソントリップデータ（以下，PT データ）を利用した．PT データは，地方自治体が数年に一度実施するアンケート形式のパーソントリップ調査のデータである．アンケートでは，選ばれた住民が定められた期間内の行動（移動元，移動先，移動した時間，移動手段）を記録する．今回は，首都圏 PT データの約 75 万人分のデータで 12:00 の位置データ (緯度，経度) を抽出し，各階層毎に GALMA へ変換する．

図 8 は，各階層での総アドレス数を図示したものである．グラフは，x 軸が階層番号，y 軸がアドレス数（対数軸）である．階層数が 22 階層から順に小さくなる毎にアドレス数が減少している．第 22 階層での総アドレス数は，53,821 個である．第 4 階層では，1 個のアドレスに集約されている．これは階層が小さくなるについれて，グリッドが大きくなり，より多くの端末が一つのアドレスに集約されるためである．

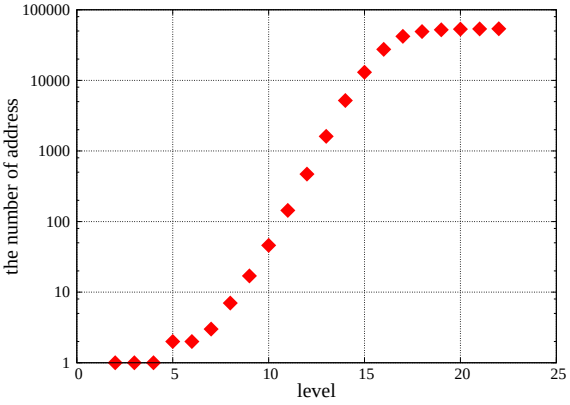


図 8 各階層におけるアドレス数
Fig. 8 The number of address in each level

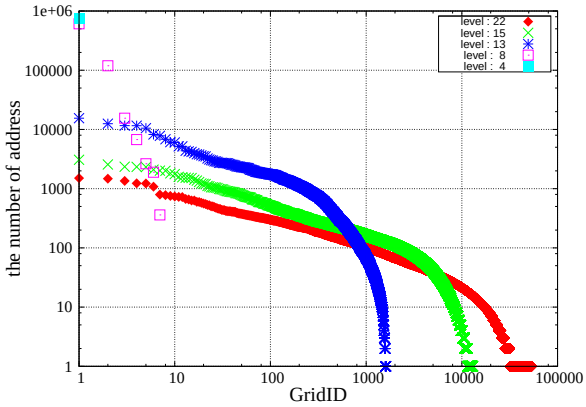


図 9 各グリッドにおけるアドレス数分布
Fig. 9 Address Distribution

図 9 は，第 22,15,13,8,4 階層において 1 アドレス当たりに集約された端末数の分布を表している．上位階層になるにつれて，アドレスが集約されることにより急激にアドレス数の分布が縮小していく様子がわかる．

両グラフから，階層的アドレス集約を行うことで経路数を大きく削減できることがわかる．GALMA は，位置情報を一意なアドレスに変換し対応付けることができている．また，階層的アドレス集約手法を用いることでアドレス数の削減ができることを示した．以上より，GALMA は，識別子としての要件である一意な位置の表現，アドレス表記による範囲指定，集約の要件を満たしている．

5. 検討事項

本論文では，端末の位置に応じたアドレス (GALMA) の設計について述べた．LBM を実現するためには，アドレス以外にも端末，ネットワーク双方に新たな仕組みが必要である．本節では，双方に必要な仕組みについて議論する．また，LBM で発生するであろう問題についても検討する．

© 2012 Information Processing Society of Japan

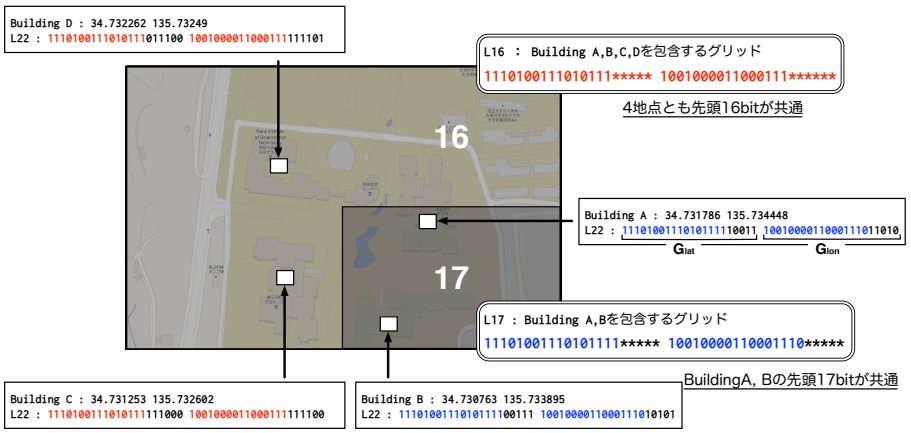


図 7 階層的アドレス集約の例
Fig. 7 Example of Hierarchical Address Aggregation

5.1 端末の管理

GALMA は，端末で生成された後に収容ルータに通知し登録する．従って，端末の収容ルータでは，端末のアドレスを管理する仕組みが必要である．IP Multicast では，メンバシップ管理プロトコルである IGMP(Internet Group Management Protocol)[3]， MLD(Multicast Listener Discovery)[4] によりこれらの機能を実現している．LBM が通常のマルチキャスト網と異なる点は，移動端末を考慮しなければならない点である．端末が移動する環境下では，頻繁に端末のアドレス登録と離脱が発生することが想定される．そのため，収容ルータでは，端末の登録，離脱を管理するための仕組みが必要である．

5.2 AS 内における経路広告

LBM では，端末からルータへの GALMA 登録後に AS 内で経路を広告しなければならない．広告される経路は，本論文で提案した経路集約方法により集約された経路である．また，AS 内では，経路交換をする過程で再度経路集約が必要になる．前述の経路集約は，端末からアドレスを登録される末端の収容ルータを想定している．しかし，大規模な AS では，広範囲に収容ルータを展開せざるを得ない．この場合，バックボーンに広告される経路数は，収容ルータの数に比例して増えてしまう可能性がある．そのため，末端のルータから広告される LBM の経路を AS のバックボーン・ネットワークでも再集約する必要がある．ただし，再集約は，無制限に繰り返すことで全ての経路を包含する大きな 1 つの経路を生成してしまう．これは，端末が存在しない位置を経路として広告し，不必要なマルチキャストトラフィックを自 AS 内に引きこんでしまう．従って，再集約は，この事態をさけるためにある程度の経路数で集約を打ち切らなければならない．

5.3 他 AS との経路交換

LBM 網は，単一の AS のみで構成されるわけではない．各 AS が管轄する領域は，広くとも各国の領土の範囲に限定される．従って，LBM の配信範囲を広げるには他の AS，他国との AS と相互に接続しなければならない．ここで接続とは，互いの AS で管理する GALMA の経路情報を交換し LBM を利用可能にすることである．AS 間の経路交換は，既存の経路交換手法 (BGP[5], mBGP[6]) を参考にアドレス体系，ポリシの設定，手続きを設計できると考える．

5.4 位置情報の保護

本論文で提案した識別子 GALMA は，アドレスに位置情報を埋め込む．そのため，端末の位置情報 (緯度，経度) は，アドレスの逆計算により得られる．従って，端末の GALMA を知られてしまった場合には，個人の位置情報を容易に知られてしまう．根本的な問題は，GALMA 自体が位置情報を反映している点と，端末が生成した GALMA に対して LBM 網内の任意の端末が通信可能という点である．

前者の解決策には，端末の利用者自身が GALMA の階層を指定できる仕組みの導入が考えられる．位置情報サービスが必要とする位置情報は，サービスの種類に応じてその粒度が異なる．例えば，地図案内サービスであれば利用者の詳細な位置が必要となるが，foursquare のような滞在地点を記録するようなサービスでは，利用者の滞在している施設がわかればよい．GALMA は，階層が下がればグリッドが細かくなり，上がれば粗くなる．グリッドが細かければ，具体的な位置を特定されやすい．一方でグリッドが粗ければ，大まかな位置になり端末の位置を特定されにくくなる．従って，利用者が GALMA の階層数を指定する仕組みがあれば，利用者の方針に合わせて位置情報の粒度を制御できる．

後者の問題は，サービス提供者を限定する仕組みが LBM 自体に存在しないことが原因である．この問題に対して

© 2012 Information Processing Society of Japan

は，端末のアプリケーション側で，許可されたサービス提供者以外のメッセージへ応答しないといった対策が考えられる．これらのプライバシーに係る問題は，LBM の安全性を確保するためにも今後整理し検討を続ける必要がある．

6. 関連研究

現在の IP Multicast は，Group ID を指定することで Group 内でのマルチキャストを実現している．既存の IP Multicast では，端末の位置に応じたマルチキャストは考慮されていない．しかし，IPv6 グループアドレスに本論文の提案した GALMA を用いれば，位置に基づいた GroupID とすることができる．サービス提供者は，情報を配信したい位置の GroupID に join することで該当端末に情報をマルチキャストできる．しかしながら，この方法では，サービス提供者は配信したい場所の GroupID に全て join する必要があり非効率である．また，階層的アドレス集約は適応できないため，指定する場所がそれぞれの個別の地点になる．

位置を IP ネットワークで識別子として利用する研究には，GeoCast[7] がある．この研究は，IETF に RFC(Experimental)[8] として提出されている．GeoCast では，緯度経度の値を直接埋め込むことで，自由な矩形，円形領域を指定できる．ただし，アドレス自体の仕組みとして経路集約ができない．そのため，大規模な環境下では，端末数に比例して経路数が増加してしまう．GALMA は，階層を用いることでアドレス構造に経路集約の仕組みを実装している．その一方で GALMA では，任意の矩形，円形領域の指定ができない．GALMA は，矩形，円形領域の指定をその領域を包含する細かな領域を組み合わせることで実現する．

オーバレイ・ネットワークの LLNet[9] では，端末の位置をキーとした端末の探索を実現できる．しかしながら，オーバレイ・ネットワークでは，ピアの管理が必要である．また，オーバレイ・ネットワークの構造は，物理的なネットワークの近さを反映しないため配信遅延が発生してしまう．LBM は，IP 層で位置に依存した情報配信を実現するためピア管理が不要であり，配信遅延も IP ネットワークでの遅延に等しくなる．

GALMA は，実世界における位置を識別し，端末自身を識別の対象としない．IP ネットワークには，端末の識別子を論理的な位置情報と，端末の識別情報に区別する Locator/ID Separation Protocol (LISP)[10] というプロトコルがある．LISP では，従来の IP アドレスを EID(Endpoint IDentifier) と RLoc(Routing Locator) に分離する．LISP は，マルチホームルーティングの簡単化，データセンタ間における仮想マシンのマイグレーション等への利用が想定されている．LBM では，GALMA が端末の実世界における位置を指し示す RLoc，EID が利用者端末の IP アドレスに相当する．LBM は，LISP の仕組みを用いて RLoc に GALMA, EID に IP アドレスと対応付けることで実現できる可能性がある．ただし，LISP で実装する場合は，RLoc と EID を変換する仕組みが必要となる．

7. おわりに

位置情報サービスの普及に伴い，位置・範囲を指定した位置依存マルチキャスト (LBM : Location Based Multicast) 通信が重要になってきている．LBM は，端末の位置に応じた情報配信，端末の検索に応用が期待される．

本論文では，LBM において位置を識別するために GALMA を提案した．GALMA は，端末の位置情報を元にカルノー図に着想を得たアドレス生成手法により生成される位置に一意なアドレスである．また，GALMA のアドレス構造は，階層構造を有しておりグリッドの大きさを表現できる．この階層構造は，GALMA の階層的なアドレス集約を実現している．集約効果の評価では，首都圏で実際に収集された約 75 万人分の位置情報に GALMA を適応しアドレスが階層的に集約できることを示した．

今後は，LBM を実現するための端末管理，マルチキャスト経路制御の仕組みの設計と実装に取り組む．

謝辞 GALMA の評価には，東京大学空間情報科学センターより提供されたパーソントリップデータを用いた．ここに記して謝意を表す．

参考文献

[1] JAXA. 準天頂衛星みちびき. http://www.jaxa.jp/projects/sat/qzss/.
[2] 東京大学空間情報科学研究センター. http://www.csis.u-tokyo.ac.jp/.
[3] S.E. Deering. Host extensions for IP multicasting. RFC 1112 (Standard), August 1989. Updated by RFC 2236.
[4] R. Vida and L. Costa. Multicast Listener Discovery Version 2 (MLDv2) for IPv6. RFC 3810 (Proposed Standard), June 2004. Updated by RFC 4604.
[5] Y. Rekhter, T. Li, and S. Hares. A Border Gateway Protocol 4 (BGP-4). RFC 4271 (Draft Standard), January 2006. Updated by RFCs 6286, 6608.
[6] T. Bates, R. Chandra, D. Katz, and Y. Rekhter. Multiprotocol Extensions for BGP-4. RFC 4760 (Draft Standard), January 2007.
[7] Julio C. Navas and Tomasz Imielinski. Geocast-geographic addressing and routing. In *Proceedings of the 3rd annual ACM/IEEE international conference on Mobile computing and networking*, MobiCom '97, pages 66–76, New York, NY, USA, 1997. ACM.
[8] T. Imielinski and J. Navas. GPS-Based Addressing and Routing. RFC 2009 (Experimental), November 1996.
[9] 金子 雄, 春本 要, 福村 真哉, 下條 真司, and 西尾 章治郎. ユビキタス環境における端末の位置情報に基づく p2p ネットワーク. **情報処理学会論文誌. データベース**, 46(18):1–15, 2005-12-15.
[10] D. Farinacci, V. Fuller, D. Meyer, and D. Lewis. Locator/ID Separation Protocol (LISP). Internet-Draft draft-ietf-lisp-23, IETF Secretariat, May 2012.

© 2012 Information Processing Society of Japan