

運輸サービスの料金徴収システムの為の 分散データ配置方式

田中 幹夫
(財)鉄道総合技術研究所

鉄道旅客輸送や有料道路交通等の運輸サービスの利用料金徴収を、利用者のユーザーID情報のみを用いて行うシステムを実現する為の分散データ配置方式について論ずる。一般に利用料金徴収の自動化の為には、利用開始時点の情報と利用終了時点の情報とから利用区間の確定、及び料金計算等を行い、その結果に応じた処理、例えば利用者の口座からの料金差引や利用者への料金表示等を行う必要が有る。利用終了時点の処理を実用的な処理時間内に収める為には、その処理に必要とされるデータの複製を予測される利用終了地点に分散して配置する事によって処理のレスポンスタイムを一定値以内におさめる方式が考えられる。当論文ではまず、その解析の前段として、交通ネットワークと利用者の移動モデルを検討した。そしてそのモデルを対象とした幾つかの複製データ配置方式を提案する。そして必要な機能要件を満たす複製データ配置方式の実現可能性や、そのコストを分析する方法を明らかとした。これらによって、ユーザーID情報のみを用いて行うシステムの実現方法や、性能、コストの評価が可能となった。

Decentralized Data Allocation for Automatic Toll Collection Systems for Transportation Services

Mikio Tanaka
Railway Technical Research Institute

For the purpose of an automatic toll collection systems for transportation services, a decentralized data allocation method in distributed communication systems is discussed. A model to formulate the movement of users (passengers or vehicles) along a transportation network is proposed. Then the merits of user-ID based toll collection system is introduced. For the purpose of this user-ID based toll collection system, the allocation of replicated data over a transportation network is required in order to reduce processing time at exit nodes. Some methods to implement this system and methods to evaluate their costs are studied.

【1】はじめに

運輸サービス(鉄道輸送、道路交通等)の料金徴収業務は従来紙による切符類を使用して行われてきた。この業務の自動化の為に各種データキャリア(その内部に必要情報を登録し外部からの情報のリードライトが可能でありユーザー側で携帯可能な小型装置)を用いたシステムの開発、試行、一部実用化が進められている。現在試みられている方式は利用者(乗客、自動車等)に携帯させるリードライト可能なデータキャリアを使用したものが主流である。当論文では、それらの方式とは異なり利用者に関するID情報のみを用いるシステムに関して、その意義、対象のモデル化、システム実現方法、コスト評価方法等を示す。そしてシステムの適用可能性と課題を明らかにする。

【2】システムの対象と目的

[2.1] 運輸サービスの料金徴収システム

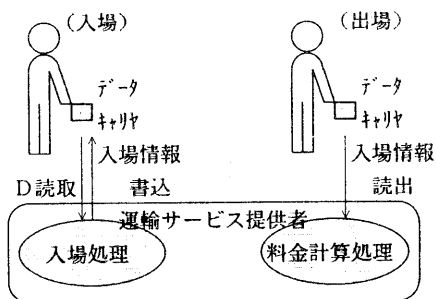
運輸サービスの料金徴収自動化の為に利用者の利用区間を特定しなければならない。利用区間を特定する事によって料金表等の情報から利用者に課すべき使用料金を計算し、それを利用者のストアードフェア(利用者が予め運輸サービス提供者に対して払込んでおく金額)の残額情報や銀行口座等から差引かなければならない。又、定期券を設定している利用者であれば、その利用者の定期券情報(設定区間、設定期間)を参照して利用の可否や追加料金徴収の必要性有無を判断しなければならない。これらの一連の処理を利用区間が確定する時点、即ち利用終了地点(鉄道輸送ならば駅の改札出口、有料道路ならば出口側ゲート等)にて行い、その結果を利用者に示す事が必要である。駅の改札出口の場合には定期券設定期間切れやストアードフェア残高不足の場合に、改札出口に設けられたドア(小扉)を閉めて利用者を物理的に停止させる必要が有るかもしれない。

このような料金徴収自動化の為に近年では各種データキャリアシステムの開発、試行、一部実用化が進められている。現在試みられている方式は使用者(乗客、自動車等)に携帯又は装着させるリードライト型データキャリアを使用したものが主流である¹⁾。現在は接触読取を行う磁気カードが普及しているが最近はより大きなメモリ容量、処理能力を備えたICカードも使用され更には電波等の通信媒体を使用した非接触読取を行うICカードやデータキャリアを使用する事により利用者の使い勝手を向上しようという試みが為されている^{2)、3)、4)、5)}。この場合に

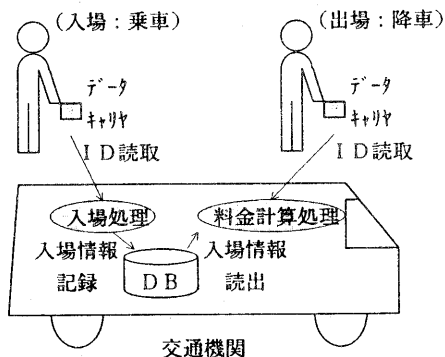
は現行の接触式カードのように利用者は切符類やカードを取出して改札口の機械に挿入する必要が無く、読取装置(小型アンテナ)の近傍にかざせばよい。又、自動車の場合には前記データキャリアを自動車のフロントガラス等に取付ける事により出入口ゲートのアンテナの近傍をノンストップで通過可能、といった利用者側での大きな利便性向上が有る^{6)、7)}。

[2.2] 料金徴収自動化システムの各種方式

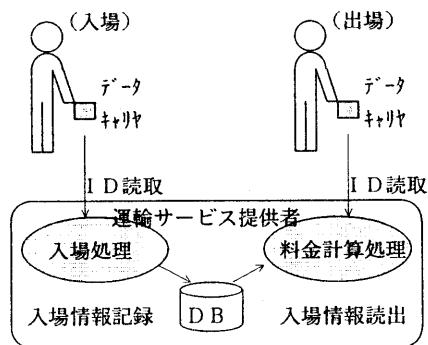
上記のようなシステムの場合、利用者に関する情



[図1] 利用者自身が情報を携帯する方式]



[図2] 運輸サービス提供者が情報を利用者と共に移動させる方式]



[図3] 運輸サービス提供者が情報をデータベース内に保存する方式]

報(定期券情報、ストアードフェア情報等)は利用者の携帯又は装着するデータキャリア内に蓄えられている。即ち運輸サービス提供者側はその利用者の利用開始情報は、特にシステム内部に取込まず利用者側のデータキャリア内に書込んでおく。そして出口では、そのデータキャリアに書かれた情報を読み出す事により利用開始箇所等の情報を知り料金表等を参照する事で料金計算等必要な処理を行う。このように利用開始時の情報を保存/参照する方式として以下の3方式が考えられる。

- ①利用者自身が情報を携帯する方式(図1)
- ②運輸サービス提供者が情報を利用者と共に移動させる方式(図2)
- ③運輸サービス提供者が情報をデータベース内に保存する方式(図3)

前述のように現在多く試みられている方式は利用者の携帯する磁気カードやICカード等に利用開始時の情報を書込むものであり、①の形態に該当する。

一部のバス等小規模な交通サービスでは②の形態も使用されている。これは例えばバスに乗込んだお客の情報(乗車停留所名等)を、そのバス内の記憶装置に保存し、降車時には、そのデータを参照して料金計算を行う方法である。これが①の形態でなく②の形態を採用している理由は、乗車時の処理時間(書込時間)を節約する狙い大きい。この②の形態では利用終了の生じる箇所が決定される必要が有り(この例では「乗ったバスから必ず降りる」故利用終了箇所が一意に決まる)、一般の鉄道輸送や自動車交通での採用は難しい。

③の形態は利用者に関してはID(ユーザーを特定する固定情報)だけで実現でき何等情報を利用者側に書込む必要はない。しかしシステム側に処理速度やデータベース容量の面で大きな能力を要求するため実用化されているケースはスキー場リフト輸送での料金徴収等小規模な場合に限定される。これらは利用終了点が1箇所或は数箇所に限られており、データベース参照が高速で容易な場合である。

[2.3] ユーザーIDベースの方式

前節で述べた各種方式の中で、③の形態のように、利用者のID、即ちリードオンリー情報のみで(リードライト型のデータキャリアを使用せずに)実現するシステムは、以下のような利点を持っている。

- ・データキャリア及び読取り装置は利用者のIDを読み取るのみで充分であり、技術的構造的に単純化され経済性保全性が向上する。

- ・入出場(改札等)時点でのトランザクションが単純となり一般に所要時間は減る。(書込の場合、書込直後に再読出を行って照合する等通信シーケンスが複雑である⁹⁾)
- ・書込のエラーによる情報不整合等のトラブルが無い。(既存のシステムでは書込エラーの対策として書込エリアの2重化等、複雑な対策を講じている場合が多い)
- ・バーコードのように光学的方式で原理的に書込困難なデータキャリアも使用できる可能性がある。
- ・現時点では技術的に困難であるが将来的にはデータキャリアを使用せず人間自体の認識結果(指紋、掌紋、声紋、容姿等)を使用する方式が使える。この場合、利用者が携帯するものは全く不要となる。このような③の方式を、利用者側に負担させる情報がユーザーIDのみである事から、当論文では「ユーザーIDベースの方式」と呼ぶ。この方式によるシステムの提案とその評価が、当論文の主題である。

【3】 システムの対象のモデル化

[3.1] 利用者の移動モデル

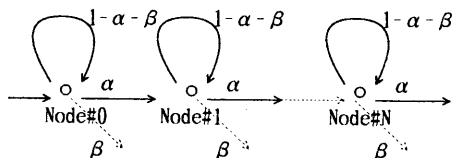
4章以降のシステム提案や評価を行う為に、ここでは対象のモデル化を行う。各種運輸サービスに於て利用者は交通機関に沿って物理的な移動を行う。その移動する領域を交通ネットワークと呼ぶ事にする。一般に交通ネットワーク内の離散的な点(ノードとする：駅、ゲート、乗降口等)に於いて利用者の「利用開始」、「利用終了」の事象が生じる。「利用開始」によって利用者は交通ネットワーク内に入り、「利用終了」によって利用者は交通ネットワークから脱退する。交通ネットワークの利用料金は「利用開始」、「利用終了」の事象が発生した場所(ノードID)で決定する。交通ネットワーク内での利用者の移動速度は利用者の特性や行先によって異なる^{9)、10)}。例えば鉄道での移動の場合、高齢者は一般に駅構内の移動や乗換に要する時間が大きく移動速度は相対的に低下するであろう¹¹⁾。又、利用駅が主要駅の場合には、急行や快速等の優等列車を利用できる事から移動速度は相対的に高くなる。又、交通ネットワーク内で「利用開始」や「利用終了」が生ずるノードの分布は一般的には主要駅は他ノードに較べて高くなる。これらの現実的な分布をここでは理想的確率分布で代替する。以下のような前提をおく。

- ・利用者の状態(ノード間の移動や「利用終了」事象の発生)はマルコフ過程に従って遷移する(離散的

状態をとり時間当たり一定確率で状態推移し過去履歴には依存しない)

- あるノードに存在する利用者が単位時間内に次ノードへ移る確率(移動率)を α 、交通ネットワークから退出する確率(退出率)を β とする。同ノードに留まる確率は $1-\alpha-\beta$ となる。 $(0 < \alpha, \beta < 1)$ ここでは単位時間内に2ノード(2駅)進む確率は無視する。また交通ネットワークの形状は線状(1次元)、格子上、環状、更にそれらの組み合わせ等様々な形態が考えられるが当論文の解析では

・線区形状は単純な直線状であり終端は無い。
 としている。上記のような前提で考えた交通ネットワーク上の利用者移動のモデルは図4のようになる。



[図4 交通ネットワーク上の利用者移動モデル]

[3.2] 利用者移動モデルの性質

前節で述べたモデルは定性的には鉄道の例で表現すれば以下のように解釈できる。ある時点である駅の管内に存在する利用者が次の単位時間内にその駅の改札出口を出る事象の確率が β である。また次の単位時間内に次の駅の管内へ進む事象の確率は α である。次の駅へ進んだり改札へ向かって出る移動速度は利用者によって差が有り一様ではない。それ故次の単位時間内に、どちらの事象にも進まない確率が存在し、それが $1-\alpha-\beta$ である。

上記のようなモデルの場合、定量的には以下のような基本的な性質が導かれる。以下、「利用者」を Entity、「利用開始」を Entry、「利用終了」を Exit とする。いま、時刻 $t=0$ に於て、Node#0 に Entity が存在しているとす。

- その Entity が、時間 t 後に交通ネットワーク内に存在する確率：

$$E(\beta, t) = (1-\beta)^t \quad (式1)$$
- その Entity が、時間 t 後に Node#n に存在する確率：(但し $t \geq n$)

$$P(\alpha, \beta, t, n) = {}_1C_n \alpha^n (1-\alpha-\beta)^{t-n} \quad (式2)$$
- その Entity が、時間 $t \sim (t+1)$ 間に Node#n で Exit する確率 (但し $t \geq n$)

$$W(\alpha, \beta, t, n) = \beta \cdot {}_1C_n \alpha^n (1-\alpha-\beta)^{t-n} \quad (式3)$$
- その Entity が、Node#n で 時間 t 以降に Exit する確率：(但し $t \geq n$)

$$Z(\alpha, \beta, t, n) = \beta \alpha^n \sum_{i=0}^{\infty} \{ {}_1C_n (1-\alpha-\beta)^{t-n+i} \} \quad (式4)$$

- その Entity が Node#n で exitする確率：

$$\beta \alpha^n \sum_{i=0}^{\infty} \{ {}_1C_n (1-\alpha-\beta)^{t-n+i} \} \quad (式5)$$
- Entityの平均システム滞在(Entry~Exit)時間

$$\sum_{i=1}^{\infty} [i \beta (1-\beta)^{i-1}] = (1-\beta) / \beta \quad (式6)$$
- Entityの平均移動距離(移動ノード数)

$$\alpha (1-\beta) / \beta \quad (式7)$$

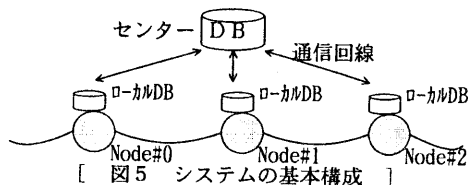
【4】複製データ配置方式

[4.1] システムの基本構成

2章で述べたような「ユーザーIDベース的方式」を実現するためには利用者の利用開始時点でシステム側にて利用開始に関する情報(例えば鉄道なら乗車駅名等)を内部データとして登録する。そして利用者の利用終了地点で、そのデータを用い料金表等を参照して料金計算等の必要処理をある処理時間内で行う事が必要である。この処理時間に関する要求の程度はアプリケーションによって異なるが、ある例では100ms以内という目標値が示されている³⁾。

ここではセンターに存在するデータベースに利用者に関する情報(定期券やストアードフェア等の情報)が登録されており利用開始時点で利用開始に関する情報が通信回線経由でそこに登録されるとする。そして利用終了時には、それを同じく通信回線経由により参照可能とする。利用終了地点の処理時間がある一定値以下に収めるという制約からノード自体にもある程度、そのデータの複製(以下、レプリカ)を配置し利用終了事象の発生した場合、その利用者情報がそのノードに存在していれば(レプリカヒット時)、その自ノード上データを参照し、そうでなければ(ヒットミス時)、センターのデータベース本体へアクセスして処理を行う事とする^{12), 13), 14)}。

システムの基本構成は図5のようになる。



[4.2] 複製データの配置

前節で述べたような基本構成を持つシステムに於て、データ分散配置の問題は、ファイル配置問題(FAP:File Allocation Problem)として、多くの

研究¹⁵⁾がある。今回の分散配置の大きな目的は処理時間の改善(低減)でありレプリカヒット率の向上が直接的な目標となる。又レプリカ配置のコストに関しては通常のファイル配置問題ではレプリカ更新コストの解析が重要になるが¹⁸⁾、ここではアプリケーションの性質上、配置レプリカ数が支配的としている。当論文では以下を前提とする。

- ・要求条件は Entityの Exit時の処理時間の最大値で与えられるが、直接的にはレプリカヒット率の下限が具体的目標になる。
- ・レプリカ配置のコストは、そのストレージコストが支配的であり、直接的には1 Entity当たりのレプリカ配置数の上限が具体的目標になる。
- ・レプリカの再配置はセンタが主導して随時、ダイナミックに行えるものとする。
- ・Entityの Exit 事象は、Exit後、速やかにセンタへ通知されるものとする。
- ・対象とする Entity に関して、その移動率： α 、退出率： β は Entry時点には与えられており、その Entity が退出するまでは不変とする。

上記の前提と3章で提案したモデルに従い、幾つかの種類レプリカ配置、評価方法の検討を行った。ここではスペースの関係上、具体的方法として以下のダイナミックな配置方式の一つに関して述べる。

[4.3] ダイナミックなレプリカ配置方式

対象Entityの各時刻/各ノードでの Exit 率の分布： $W(\alpha, \beta, t, n)$ に注目する(式3)。この分布Wはその時刻 t /ノード n にレプリカを配置した場合に得られるヒット率を示すものと言える。参考として $\alpha=0.2, \beta=0.1$ の場合のWの値を図6に示す。縦軸は経過時間、横軸はノードである。

t \ n	0	1	2	3	4	5	6
000	0.100						
001	0.070	0.020					
002	0.049	0.028	0.004				
003	0.034	0.029	0.008				
004	0.024	0.027	0.012	0.002			
005	0.017	0.024	0.014	0.004			
006	0.012	0.020	0.014	0.005	0.001		
007	0.008	0.016	0.014	0.007	0.002		
008	0.006	0.013	0.013	0.008	0.003		
009	0.004	0.010	0.012	0.008	0.003		
010	0.003	0.008	0.010	0.008	0.004	0.001	

【図6 Wの実際の値の例】

上記のWの表の各セル(t と n との組合で決定する表中の柵)に示された値は、そのセル(t, n)に新たにレプリカを配置する事で得られるヒット率の増加値を表わす。これらのヒット率増加値を、配置するセル全体に関しての総和をとれば全体のヒット率が

計算される。即ちヒット率は以下となる。

$$\sum_{t,n} W(\alpha, \beta, t, n) \quad (式8)$$

一方、各時刻/ノードにレプリカを配置する為のコストを考える。ここでいうコストは、以下の式で与えられるようなストレージコストとする。

$$\int_{t=0}^{t=\infty} (\text{レプリカ数}) \times (\text{レプリカ転送時間}) \times (\text{転送率}) dt \quad (式9)$$

1セルをカバーするレプリカ配置コスト(1つのノードに1単位時間1レプリカを配置するコスト)は基本的に1である。しかし実効的なコストは実際に配置が必要となる確率との積をとった値と等しくなる。即ちセル(t, n)にレプリカ配置を予定する場合の実効コストは以下の式で計算される。

$$\begin{aligned} \text{効コスト} &= (\text{配置コスト}) \times (\text{配置を実際に行う確率}) \quad (式10) \\ &= (\text{配置コスト}) \times (\text{Entity転送確率}) = (1 - \beta)^t \end{aligned}$$

この値が、そのセルへレプリカ配置を予定した場合のコストの期待値であり、これを以下「実効コスト」と定義する事にする。

各セル毎に、そこにレプリカ配置を行う事により得られるヒット率と、その実効コストが求められる。この2つの値の比率をレプリカ配置効果率： $R(\alpha, \beta, t, n)$ と呼ぶ事にする。これは、いわゆるレプリカ配置のコストパフォーマンスを示す指標とも言う。 $R(\alpha, \beta, t, n)$ は以下の式で計算される。

$$\begin{aligned} R(\alpha, \beta, t, n) &= (\text{得られるヒット率}) / (\text{効コスト}) \quad (式11) \\ &= [\beta^t C_n \alpha^n (1 - \alpha - \beta)^{t-n}] / (1 - \beta)^t \end{aligned}$$

上式は以下のようにも変形でき、一般的な2項分布の形となる事がわかる。

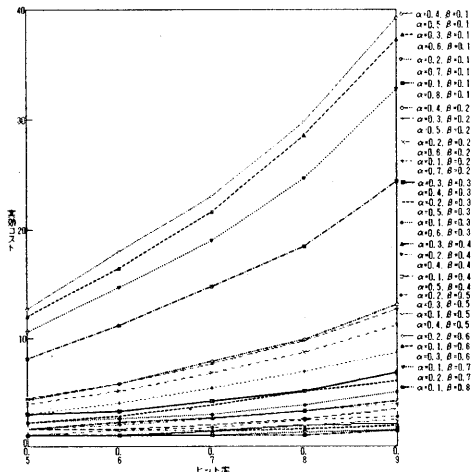
$$\begin{aligned} R(\alpha, \beta, t, n) &= \beta^t C_n \lambda^n (1 - \lambda)^{t-n} \\ \text{但し、} \quad \lambda &= \alpha / (1 - \beta) \end{aligned}$$

最小コストで最大のレプリカヒット率を得る為に、このレプリカ配置効果率の大きいセルから順にレプリカ配置を予定する。レプリカ配置予定セル $(t_1, n_1), (t_2, n_2), \dots, (t_m, n_m)$ を対象として、各時刻 t 毎に、対象 Entity が存在していれば(Exitしていなければ)、 $t \sim (t+1)$ に該当するセルに、実際にレプリカ配置を行う。この場合の実効コストは、決定された、 m 個の配置予定セル： $(t_1, n_1), (t_2, n_2), \dots, (t_m, n_m)$ に関して、実効コストの総和をとる事により求められる。即ち以下となる。

$$\begin{aligned} \text{実効コスト} &= \sum (\text{配置予定セルの実効コスト}) \\ &= \sum_{i=1}^m (1 - \beta)^{t_i} \quad (式13) \end{aligned}$$

上記のような手順に従ってレプリカ配置を行った場合の実効コストの計算結果の例を、図7のグラフ

で示す。ここで、対象 Entity に関するパラメータ： $\alpha=0.1\sim 1.0$ 、 $\beta=0.1\sim 1.0$ 、満たすべきヒット率： $h=0.5\sim 0.9$ としている。



〔 図7 ヒット率とコストの試算例 〕

【5】 結論

運輸サービスの自動料金徴収システムに関して、ユーザーIDベースの方式は定性的に、処理時間やデータベース容量の関係から困難と考えられていた。しかし3章で述べたような利用者移動モデルをベースとし、4章で提案したような複製データ配置方式を適用する事によってユーザーIDをベースとした料金徴収システムの構築方法、複製データ配置の為のコストの決定方法の一つが明らかとなった。今回はスペースの関係で紹介できなかったが、前述の方式の他のダイナミックな方式や、又、スタティックな方式に関しても検討を行ったが、4章の方式が一般的にはコスト上最適になると考えられる。今回の解析により、今後、使用する環境や処理装置、通信ネットワークの能力によって、「ユーザーIDベースの方式」による自動料金徴収システムの可能性、即ち実現が困難と判断されるカリソース条件によっては充分可能性が有るか、そして、それを採用した場合の性能評価方法が明らかとなったと考えている。

ここで述べたような方法は運輸サービスの料金徴収という適用分野だけでなく、移動Entityを対象とし、その行動に応じて関連データの準備が必要な状況、例えばセルラー通信システムでの移動体追跡等にも適用できる可能性が有ると考えている。今後このベースとなった移動モデルの現実との整合性の評

価、パラメータの設定方法等を明らかにして行きたい。又より複雑な交通ネットワーク形態、対象の移動形態に対応する方法を検討したいと考えている。

「ユーザーIDベースの方式」は将来的に利用者へのサービスを格段に向上させる可能性を持つものであるが、技術的な問題の他に利用者のプライバシーの保護、例えば利用履歴情報のセキュリティ確保といった問題も存在している。これは社会的な問題として別途の検討も必要となろう。これに関しては例えば文献²³⁾等が有る。

【参考文献】

- 1) 日本国有鉄道規格 [JRS76321-5B-15AR5M (自動改札装置)] 日本国有鉄道車両局 (1985.10)
- 2) 三木彰生 [非接触ICカードによる乗車券システムの基本構想] 鉄道総合研究所 第4巻 第12号 pp. 53-60 (1990)
- 3) 後藤浩一、松原広、佐々木健一、永井昇 [非接触ICカードによる自動改札システム] 鉄道総合研究所 第7巻 第12号 pp. 1-8 (1993)
- 4) 菅原徳、井上照久 [乗客用非接触ICカードによる鉄道利用システムの改善の可能性] 電気学会 交通・電気鉄道/道徳交通合同研究会 TER91-4、電気学会 (1991.4)
- 5) K. Goto, H. Matsubara and K. Sasaki [New Railway Ticket System Using Contactless IC Cards] Proc. of IFAC-TS'94 International, IFAC (1994)
- 6) 矢野二郎、鎌田達治、駒田収夫 [ノルウェーの有料道路制と料金自動徴収システムについて] 交通工学 Vol. 26 No. 4 pp. 29-35 交通工学研究会 (1991)
- 7) K. Tetsusaki [High Security Electronic Toll & Traffic Management and Road Pricing System Using Encrypted Messages and Personal Identity Number] VNIS pp. 695-698 (1994.8)
- 8) 松川公一、竹下孝徳、青柳秀幸 [非接触ICカードを使用した自動改札システム] 日本信号技報 Vol. 18 No. 4 pp. 1-12 (1994)
- 9) 栗田正雄 [シミュレーションによる年間平均速度の推定] 交通工学 Vol. 24 No. 6 pp. 11-20 交通工学研究会 (1989)
- 10) 栗田正雄 [旅行時間推定式の提案] 交通工学 Vol. 29 No. 1 pp. 35-37
- 11) 清水浩志郎、木村一敏、吉岡晴弘 [道徳橋断線区における高齢者の歩行特性に関する考察] 交通工学 Vol. 26 No. 2 pp. 29-38 交通工学研究会 (1991)
- 12) S. Mullender [Distributed Systems] ACM (1989)
- 13) 藤川守嗣 [分散オペレーティングシステム] 共立出版 (1991)
- 14) G. F. Coulouris and J. Dollimore [Distributed Systems, Concept and Design] (邦訳 [分散システム] 1991)
- 15) L. W. Dowdy, D. V. Foster [Comparative Models of the File Assignment Problem] Computing Surveys, Vol. 14, No. 2, IEEE (1982.6)
- 16) A. J. Smith [Long Term File Migration: Development and Evaluation of Algorithms] Communication of the ACM Vol. 24, No. 8, pp. 521-532 (1981)
- 17) 栗田和弘、高野誠、斎藤勲 [通信システムにおける分散データ配置方式] マルチメディア通信と分散処理研究会45-13, pp. 93-100 情報処理学会 (1990.5)
- 18) Fisher & Hochbaum [Database Location in Computer Networks] JACM, Vol. 27, pp. 718-735 (1980)
- 19) R. G. Casey [Allocation of Copies of a file in an information network] Spring Joint Computer Conference pp. 617-625 AFIPS Press 1972
- 20) 高品智一、宮西祥太郎、渡辺尚、水野忠則 [分散環境における部分データベースの複製配置法] マルチメディア通信と分散処理研究会66-2, pp. 7-12 情報処理学会 (1994.7)
- 21) O. Wolfson, A. Milo [The Multicast Policy & Its Relationship to Replicated Data Placement] ACM Transaction on Database Systems, Vol. 16, No. 1, pp. 181-205
- 22) A. Kumar, A. Segev [Cost and Availability Tradeoffs in Replicated Data Concurrency Control] ACM Transactions on Database Systems, Vol. 18, No. 1, pp. 102- (1993)
- 23) D. Chaum [A New Paradigm for Individuals in the Information Age], Proc. of the Symposium