

同時クリック操作に基づく端末ペアリングのスケラビリティ確保方式

大芝 崇 子林 秀明

NEC サービスプラットフォーム研究所

概要

我々は複数の端末を連携したサービスを実現するために、携帯電話や PC などの端末のペアを動的生成するアドホック端末ペアリング技術の研究を行っている。同時クリック操作に基づく端末ペアリングを研究中であり、複数ユーザの同時クリック操作が時間的に重なるとペアリング処理が衝突する課題があった。本稿では、ユーザからの端末ペアリングの要求数の変動に適応して、ペアリング処理を行う系の数を動的に増減することで衝突確率を許容値以下に抑え、スケラビリティを確保する方式を提案する。

Scalable Device Pairing using Adaptive Parallel Processing

Takashi Oshiba and Hideaki Nebayashi

NEC Corporation, Service Platforms Research Laboratories

Abstract

We are developing an ad-hoc device pairing method that enables a user to establish a pair of devices, such as a mobile phone and a PC, in order to realize multi-devices cooperated services. Our previous developed method was based on simultaneously click operation, which could cause a collision of device pairing if timing of multiple users' click operation overlaps each other. In this paper, we present a scalable device pairing method which can restrain a collision probability under a permissible range with adaptively changing the number of parallel pairing processing based on the number of pairing request from users.

1. はじめに

近年、オフィスにおいてユーザが携帯電話や PC などの複数の端末を利用することが一般的 [1] になり、複数の端末を連携したサービス (以下、端末連携サービスと呼ぶ) の実現が期待されている [2][3]。端末連携サービスの例として、携帯電話で音声通話をしながら、通話中の相手と PC で Web 会議を行う例が考えられる。また、サテライトオフィスにある共用 PC にログインする際に、携帯電話を認証デバイスとして用いることでセキュリティを高める例が考えられる。前者も後者も、連携する 2 台の端末を特定する必要があるため、端末連携サービスの実現には、2 台の端末を特定してペアを組む、所謂「端末ペアリング」が重要である。

我々は、大企業などの大規模な組織内で利用

可能な端末ペアリング技術を実現するために、組織内の多数のユーザに対応可能なスケラビリティを確保することと、組織内へ端末ペアリング用のシステムを低コストに導入できることを目指した「アドホック端末ペアリング技術」 [4][5] の研究を行っている。

数万人規模の組織で日常的に端末ペアリングを行えるようにするには、全ユーザが 1 日平均 10 回端末ペアリングを行うと仮定すると、1 日当たり数十万回のペアリング処理に対応する必要がある。また、大規模組織では携帯電話や PC、PDA などの多様な端末と、無線・有線などの多様なネットワークが混在しているため、システム導入時に、既存の端末やネットワークの変更作業を最小限にする必要がある。

本稿では、大規模な組織内で利用可能なスケ

ーラビリティを確保し、システムを低コストに導入できる端末ペアリング方式を提案する。

2. 端末ペアリングにおける課題と要件

2.1. 従来技術の課題

主に無線ネットワークに接続された携帯電話や小型センサを対象として、数多くの端末ペアリングの従来技術がある。

加速度センサを備える小型センサの加速度情報を用いて小型センサのペアを自動的に組む方式[6]では、MAC フレームを無線ネットワークにブロードキャストすることで加速度情報を相互に交換し、ペアを生成する。しかし、ブロードキャスト範囲が単一の LAN に限られる上、小型センサが増え過ぎるとブロードキャストが頻発して MAC フレームが衝突するため、最大 100 個の小型センサにしか対応できないことが報告[6]されている。

加速度センサを備えた 2 台の端末をユーザが同時に振る方式[7]は、加速度センサがない端末では利用できない。同じ課題が方式[6]にもある。ユーザが 2 台の端末のハードウェアボタンを連続的に 7 回同時に押下する方式[8]は、端末に専用ソフトウェアをインストールしなければ利用できない。また、方式[8]では両端末の無線方式の種類が一致している必要があり、一方の端末が Bluetooth、他方が IEEE 802.11b/g にしか対応していない場合には利用できない。2 次元バーコードとカメラを用いた方式[9]にも、方式[8]と同じ 2 つの課題がある。

2.2. 端末ペアリングの要件

以上を考慮すると、端末ペアリングでは、次の要件を満たすことが重要と考えられる。

- (1) **衝突の発生確率の抑制:** ユーザ数や端末数が増加してペアリング要求の発生頻度が高くなっても、ペアリング要求の衝突の発生確率を許容値以下に抑える必要がある。
- (2) **導入容易性:** 多様な端末やネットワークが

ある環境でも、システムを低コストに導入できる必要がある。大規模な組織内にある多数の端末への特殊なハードウェアや専用ソフトウェアの追加が不要で、無線・有線などのネットワークの種類に非依存にする必要がある。

3. 提案する端末ペアリング方式

本稿では、我々が開発した方式[4][5]を拡張し、要件(1)(2)を満たす端末ペアリング方式を提案する。

3.1. 提案方式の基礎となる方式の概要

提案方式を説明する前準備として、提案方式の基礎となる、方式[4][5]（以下、基本方式と呼ぶ）の概要を述べる。

基本方式では、ユーザによる携帯電話と PC の画面にそれぞれ表示されたペアリングボタンの同時クリック操作により、両端末からペアリング要求がペアリングサーバに送信される。ペアリングサーバが端末からのペアリング要求を 1 つ受信した段階でペアリング処理の受付期間が開始する。受付期間中にもう 1 台の端末からペアリング要求を受信し、受付期間の開始から既定の時間（例えば 1 秒）が経過して受付期間が終了した時点で、受信したペアリング要求が 2 つである場合に、ペアリングサーバが 2 台の端末のペアを生成する。

このように基本方式では時間情報のみに基づいてペアを生成していた。そのため、2 人のユーザによる携帯電話と PC の同時クリック操作が時間的に重なり、受付期間の終了時点でペアリングサーバが 4 つのペアリング要求を受信していた場合には、ペアリングサーバでは 2 人のユーザと 4 台の端末の対応関係が把握できないため、ペアリング要求の衝突が発生する。

基本方式では、受付期間終了後に携帯電話と PC に画像が表示され、ユーザが自分の携帯電話と PC に表示された画像の一致を確認することで、仮に衝突が発生した場合でもペアが正

しいか否かを直感的に把握できる。もし画像が不一致の場合にはペアが正しくないことを意味するので、PC に表示された画像を変更して携帯電話に表示された画像に一致させることで、正しいペアに修正できる。

しかしながら、画像が不一致の場合には、ユーザが手動で画像を変更する必要があるため、ユーザの作業負荷が高くなってしまう。そのため、ユーザの操作の簡便性を確保するために、そもそも衝突を発生させないことが望ましい。

3.2. 提案方式の概要

提案方式では、ペアリング要求の受信時刻という時間情報だけでなく、ペアリング要求に付加した識別子の情報も用いてペア生成の判定を行うことで、衝突の発生確率を許容値以下に抑える。

ユーザのペアリング操作の際に、携帯電話にペアリングサーバが選択した識別子を 1 つ表示し、PC に表示された複数の識別子の中から、ユーザに携帯電話と同じ識別子を選択させる。PC に表示する識別子を増やし過ぎると、ユーザが携帯電話と同じ識別子を探す作業の負荷が高くなってしまう。そこで、ユーザからの端末ペアリングの要求数の変動に適応し、PC に表示する識別子の数を、衝突の発生確率を許容値以下にするために必要な最小の数に限定することで、スケーラビリティを確保しながら、ユーザの操作の簡便性を確保する。

また、通信プロトコルに HTTP を採用することで、無線・有線などのネットワークの種類に依存せずに、Web ブラウザを搭載した任意の端末で端末ペアリングを行えるため、システムを低コストに導入することを可能にする。

以下では、まずユーザの操作方法を示した上で、提案方式のシステム構成と動作を述べる。

3.3. 提案方式におけるユーザの操作方法

提案方式では、ユーザはまずペアリングサーバにアクセスしてペアリング実行画面を表示

する必要がある。

基本方式では携帯電話のペアリング実行画面に単一のペアリングボタンが表示されるが、提案方式では単一のペアリングボタンに、1 から S (S は自然数) の S 個の候補の内、ペアリングサーバが選択した数字が識別子として表示される。また、基本方式では PC のペアリング実行画面に単一のペアリングボタンが表示されるが、提案方式では S 個のペアリングボタンが表示され、ペアリングボタン毎にそれぞれ異なる数字が識別子として表示される(図 1)。

ユーザは、PC に表示された S 個のペアリングボタンの内、携帯電話に表示されたペアリングボタンの数字と一致するペアリングボタンと、携帯電話に表示された単一のペアリングボタンとを、同時にクリックする。

ユーザの同時クリック操作により、両端末からペアリング要求がペアリングサーバに送信され、ペアリング処理が行われる。

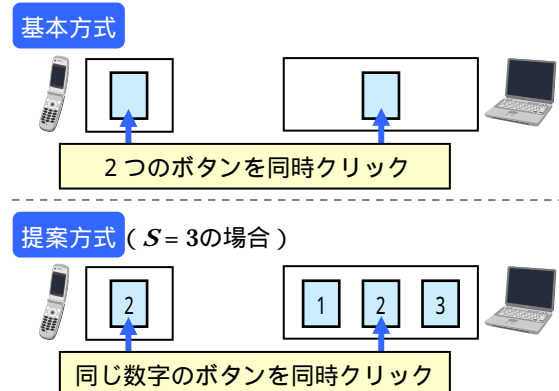


図 1: ペアリング実行画面

3.4. システム構成と動作

提案方式のシステム構成を図 2 に示す。

PC のペアリング実行画面に表示されるペアリングボタンの個数 S は、並列数最適化部により決定(決定方法は 3.5.3 小節で述べる)され、携帯電話に表示される識別子は識別子選択部により選択される。識別子選択部は、ペアリング実行画面の表示要求がある度に、 S 個の候補からラウンドロビン型で識別子を選択する。

提案方式では、 S 個の時間ベースペアリング処理部が並列動作する。時間ベースペアリング処理部は、3.1 節で述べた時間情報に基づくペアリング処理を行う。ユーザの同時クリック操作により、識別子ベース負荷分散部が識別子の付加されたペアリング要求を受信すると、識別子に応じて対応する時間ベースペアリング処理部に処理を振り分ける。ペアが成立すると、ペア情報にペアの情報が登録される。

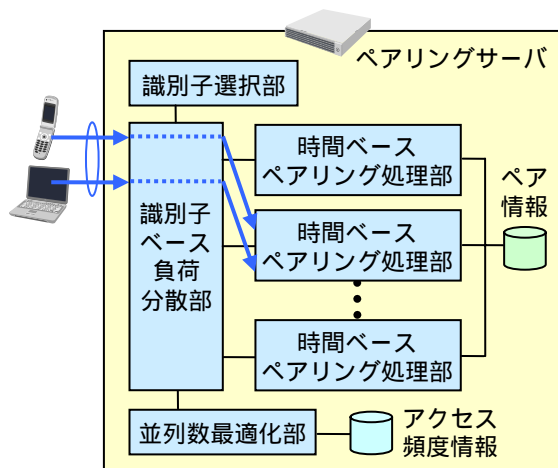


図 2：システム構成

識別子選択部がラウンドロビン型で識別子を選択するため、ユーザ A の携帯電話がペアリング実行画面を表示した後でユーザ B の携帯電話がペアリング実行画面を表示すると、両ユーザの携帯電話には異なる識別子が表示される。そのため、両ユーザによる携帯電話と PC の同時クリック操作が時間的に重なっても、識別子ベース負荷分散部は両ユーザの端末を識別できるため、異なる時間ベースペアリング処理部に処理を振り分けることで衝突を回避できる。そのため、提案方式で衝突が発生するのは、ペアリング受付期間中に $S + 1$ 人以上からペアリング要求を受信した場合のみとなる。

3.5. 適応的並列処理数制御

3.2 節で述べたように、提案方式では、ペアリング要求の数の変動に適応し、識別子の個数

S (つまり、時間ベースペアリング処理部の並列動作数) を、衝突の発生確率を許容値以下に抑えるために必要な最小の数に限定することで、スケーラビリティを確保しながら、ユーザの操作の簡便性を確保する。

3.5.1. 端末ペアリングの並列処理のモデル化

S 個の時間ベースペアリング処理部が並列動作する提案方式を、待ち行列理論を用いてモデル化した。ペアリング要求の発生をポアソン生起と仮定すると、サービス時間は常に一定のペアリング受付期間で一定分布となるため、提案方式は即時式 $M/D/S(0)$ モデルに帰着する。また、衝突の発生確率 B_S は同モデルの呼損率と等価となる。 $S = 1$ の時、提案方式は基本方式と同じ $M/D/1(0)$ モデルになる。

3.5.2. アクセス頻度の平滑化と予測

並列数最適化部は、定期的に、識別子ベース負荷分散部にペアリング要求を送信したユーザ数 (つまりペアリング要求数の半数) を、アクセス頻度 λ として観測する。 B_S の許容値を B_{\max} と置くと、並列数最適化部は、 λ に基づいて B_S を算出し、 $B_S < B_{\max}$ を満たす最小の S を S_{opt} として求める。時間ベースペアリング処理部の並列動作数を S_{opt} にすることで、 λ の変動に応じて適応的に増減する制御を行う。

ただし、定期的に観測される λ には偶発的な誤差が含まれるため、観測時に毎回 λ から直接 B_S を算出すると、観測誤差の影響により S_{opt} の値が安定しない現象が発生し得る。そこで、定期的に観測される λ を時系列データとして扱い、平滑化を行うことで観測誤差を除去する。さらに、平滑化時に得られる、次回観測時の λ の予測値 λ_{next} により B_S を算出することで、 S_{opt} の値を安定化させる。

B_S が B_{\max} を上回る前にあらかじめ S_{opt} を増加させることで、 B_S が B_{\max} を上回ることを確実にかつ未然に防止できる。提案方式では λ_{next} の算出に、移動平均法よりも時系列データの傾向の変化への追従性の高い、Brown の線形傾向

モデルによる指数平滑法[10]を用いる(1式)。

$$\begin{aligned} f_1(1) &= null, \quad f_1(2) = \lambda(1), \\ f_1(t) &= \alpha \cdot \lambda(t) + (1-\alpha)f_1(t-1), \\ f_2(t) &= \alpha \cdot f_1(t) + (1-\alpha)f_2(t-1), \\ \lambda_{next} &= 2f_1(t) - f_2(t) + \frac{\alpha}{1-\alpha} \{f_1(t) - f_2(t)\} \end{aligned} \quad (1)$$

ここで、 $\lambda(t)$ は定期観測における λ の最新の観測値である。 α は $0 < \alpha < 1$ を満たす平滑化定数であり、値が 1 に近いほど直近の観測値の影響が大きくなる。

3.5.3. 最適な並列処理数の導出

衝突の発生確率 B_S はアラン B 式[11]により、(2)式で求められる。

$$B_S = \frac{(\lambda_{next} h)^S}{S!} \sum_{n=0}^S \frac{(\lambda_{next} h)^n}{n!} \quad (2)$$

ここで、 h はペアリング受付期間を示す定数である。(1)式と(2)式により $B_S < B_{max}$ を満たす最小の S を S_{opt} として求める。

以上により、アクセス頻度 λ の変動に適応して、時間ベースペアリング処理部の並列動作数が S_{opt} 個になるよう制御することで、衝突の発生確率 B_S を許容値 B_{max} 以下に保ちながら、PC のペアリングボタンを必要最小限の数に限定できる。そのため、スケーラビリティを確保しながら、ユーザの操作の簡便性も確保できるようになっている。

3.6. 実装

ペアリングサーバを Web アプリケーションサーバとして実装し、N906iL などの Web ブラウザ搭載の携帯電話と、Internet Explorer 搭載 PC を用いて動作を確認した。JavaScript や Cookie に非対応の携帯電話の Web ブラウザでも動作可能なので、PDA などの多様の端末に対応可能である。また、通信プロトコルに HTTP を採用することで、無線・有線などのネットワークの種類に依存せずに、任意の Web ブラウザ搭載端末に対応できるので、システム

を低コストに導入できるようになっている。

4. 評価

まず、PC のペアリング実行画面に表示されるペアリングボタンの個数 S_{opt} (時間ベースペアリング処理部の並列動作数) と、1 日に処理可能な端末ペアリングの回数 n との関係を解析した。ここで、アクセス頻度 λ に時間的な変化がなく、全ユーザが 24 時間に平均 10 回端末ペアリングを行うと仮定し、ペアリングサーバの設定値として、2.0% の衝突発生確率の許容値 B_{max} と、1.0 秒のペアリング受付期間 h を仮定した。また、人間の短期記憶に関する Miller の実験結果[12]に基づき、 S_{opt} の最大値を 9 とした。

$\lambda_{next} = n \cdot h / (24 \times 3,600)$ の関係式と(2)式を用いた解析結果を図 3 に示す。 $S_{opt} = 9$ の場合、約 375,000 回、つまり約 37,500 ユーザに対応できるため、提案方式は数万人規模の組織に対応するスケーラビリティが確保可能であることが確認できた。基本方式での解析結果[5]では提案方式における $S_{opt} = 1$ の場合と同じく、約 1,700 回に対応するため、提案方式のスケーラビリティは基本方式に比べて最大で約 220 倍となることが分かった。

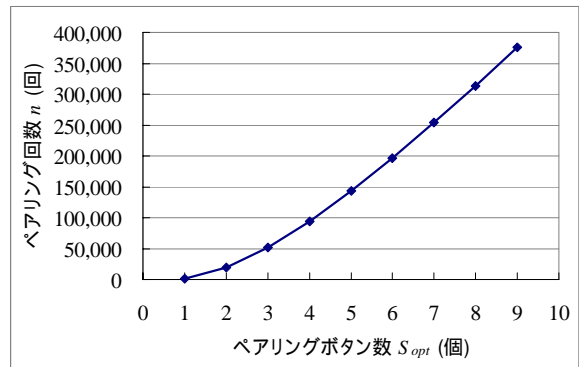


図 3：ペアリングボタン数とペアリング回数

次に、3.5 節で述べた適応的並列処理数制御の動作を確認するために、アクセス頻度 m (単位は回 / 日) を 0 から 375,000 まで増加させた時の B_S と S_{opt} の推移の計測結果を図 4 に示

す。 m の増加により B_S が増加しても、 S_{opt} を 1 つ増加させることで、常に B_S が B_{max} (2.0%) を下回るように制御されていることが確認できた。なお、図 4 の計測点が図の左側で密になっている理由は、 m の増加率を一定にすると、 S_{opt} が 1 の期間で定期観測による B_S の観測ができなかったため、意図的に計測の後半に行くほど増加率を高くしたからである。

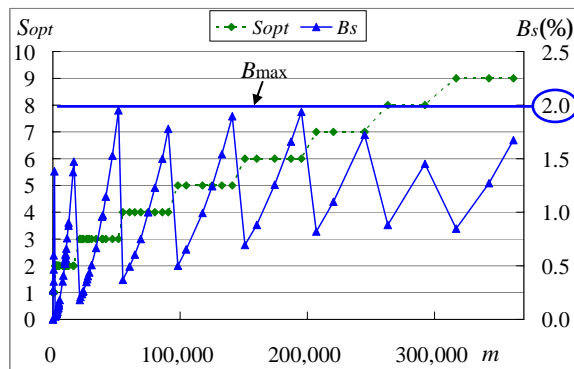


図 4：適応的並列処理数制御の計測結果

5. おわりに

本稿では、ユーザからの端末ペアリングの要求数の変動に適応して、ペアリング処理を行う系の数を動的に増減することで衝突確率を許容値以下に抑え、スケーラビリティを確保する方式を提案した。評価により、スケーラビリティを既存方式より約 220 倍向上でき、大規模な組織に対応できることを確認した。また、任意の Web ブラウザ搭載端末に対応することで、多様な端末とネットワークのある大規模な組織へ、システムを低コストに導入可能にした。

今後の課題は、実環境での実証実験による有効性の確認と、コンシューマ向けサービスに向けたさらなるスケーラビリティの向上である。

参考文献

[1] Unisys News Release, August 28, 2007, http://www.unisys.com/about_unisys/news_a_events/08288810.htm
 [2] H. Schulzrinne et al., “Application-Layer Mobility Using SIP”, *ACM SIGMOBILE Mobile*

Computing and Communications Review, Vol. 4, No. 3, pp. 47–57, 2000.

- [3] K. Kaneko et al., “Session Layer Mobility Support for 3C Everywhere Environments”, *Proc. of WPMC 2003*, pp. 347–351, 2003.
 [4] 大芝 崇, 他, “音声通話からリッチメディアコミュニケーションへの動的拡張を実現するアドホック端末ペアリング方式”, 情処第 70 回全国大会, 5F-2, 2008.
 [5] T. Oshiba et al., “Ad-hoc Endpoint Pairing based on Simultaneous Clicking for Ubiquitous Communications”, *Proc. of SAINT 2008*, pp. 467–470, 2008.
 [6] R. Marin-Perianu et al., “Movement-based Group Awareness with Wireless Sensor Networks”, *Proc. of Pervasive 2007*, pp. 298–315, 2007.
 [7] R. Mayrhofer et al., “Shake Well Before Use: Authentication based on Accelerometer Data”, *Proc. of Pervasive 2007*, pp. 144–161, 2007.
 [8] C. Soriente et al., “BEDA: Button-Enabled Device Association”, *Proc. of IWSSI 2007*, 2007.
 [9] J.M. McCune et al., “Seeing-Is-Believing: Using Camera Phones for Human-Verifiable Authentication”, *Proc. of 2005 IEEE Symposium on Security and Privacy*, pp. 110–124, 2005.
 [10] E.S. Gardner Jr., “Exponential Smoothing: The State of the Art”, *Journal of Forecasting*, Vol. 4, Issue 1, pp. 1–28, 1985.
 [11] A.K. Erlang, “Solution of Some Problems in the Theory of Probabilities of Significance in Automatic Telephone Exchanges,” *Transactions of the Danish Academy of Technical Sciences*, No. 2, pp. 138–155, 1948.
 [12] G.A. Miller, “The Magical Number Seven, Plus or Minus Two: Some Limits on Our Capacity for Processing Information”, *Psychological Review*, Vol. 63, pp. 81–97, 1956.