

携帯電話の使用履歴に基づく特徴抽出 折りたたみ式携帯電話とスマートフォンの比較

多屋 優人^{†1} 横山 浩之^{†1} 水野(松本) 由子^{†2}

実環境下での携帯電話の使用履歴に着目した2つのデータ収集実験を実施している。両実験で収集された使用履歴を基にして、携帯電話の開閉状態、スクリーンのオン/オフという単純な使用履歴の観点から、携帯電話使用時の特徴について、検討を行った。2つの実験の主な違いは、被験者が利用する携帯電話のタイプである。一方は、折りたたみ式携帯電話であり、もう一方はスマートフォンである。実験1では、24名の被験者に対して、折りたたみ式携帯電話を用いて、約2ヶ月間の使用履歴の収集を行った。実験2では、実験1とは異なる112名の被験者に対して、スマートフォンを利用して、約3ヶ月間の使用履歴の収集を実施した。その結果、どちらのタイプの携帯電話を利用している場合でも、携帯電話の継続使用時間は異なる2つのべき乗則に従い、短時間帯と長時間帯に分かれることが明らかになった。

Feature extraction from the usage logs on mobile phones: the comparison of flip-type phone and Android phone

MASATO TAYA,^{†1} HIROYUKI YOKOYAMA^{†1}
and YUKO MIZUNO-MATSUMOTO^{†2}

This paper examines the usage of the mobile phones via two empirical experiments. The usage logs are collected on the phones, and the phone status is analyzed. The main difference of two experiments is the types of the phones used in the experiments. One is a flip-type phone, the other is Android phones. The experiment 1 uses the flipped type phone for about two months, which has 24 participants. The experiment 2 uses the Android phones for about three months, which has 112 participants. The results shows that the frequency for the elapsed time obeys power law distribution in both experiments.

1. はじめに

現実世界には、インターネット、人間関係、感染症の伝播、電話回線網など数多くのネットワーク構造を持つ事例が存在する。ネットワークに属する個々のノードが相互に影響を及ぼし合いながら、複雑なシステムとして成り立つ。これまでに、WWW上のページのリンク構造¹⁾や論文の共著関係²⁾、SNSのリンク数³⁾などの解析が行われており、グラフの次数分布がべき乗則に従うことが明らかになっている。BarabasiとAlbertによって提案されたBAモデル⁴⁾により、べき乗則に従うネットワーク構造が生成される過程がモデル化された。BAモデルは、ネットワークに新規のノードが追加されたときに、既存の次数の高いノードと高確率で結びつくことによりネットワークが成長するモデルであり、次数の高いノードの次数が増える一方で、次数の低いノードの次数は増加しにくくなる。

また、人間活動に関する事例に関してもべき乗則に従う事例が報告されており、近親者間でのSMSでのコミュニケーション⁵⁾がべき乗則に従うことが明らかになっている。本研究においても人間活動に着目し、異なるタイプの携帯電話を日常的に利用する際の継続使用時間に関する特徴を検討する。具体的には、ユーザの携帯電話の使用履歴に着目し、折りたたみ式携帯電話と、スマートフォンを対象端末として使用履歴の収集実験を行う。収集した使用履歴を集計することによって、携帯電話の使用回数と継続使用時間を算出し、異なるタイプの携帯電話を利用する際の特徴の違いについて検討を行う。ここで、本稿では、携帯電話の「使用」の定義を、折りたたみ式携帯電話の場合は「携帯電話が開かれてから閉じられるまでの一連の動作」とした。使用時に携帯電話を開いたままの状態にしておくことが多いユーザは使用回数が少ないとみなされ、さらに継続使用時間が実際よりも長く集計されてしまうことに注意されたい。また、スマートフォンの場合は「スクリーンがオンになり、セキュリティロックが解除され、スクリーンがオフになるまでの動作」とした。例えば、ブラウジング中に操作が終了していてもかかわらず、設定されたバックライトの自動消灯時間が経過したことによりスクリーンがオフになることがある。数秒以内にスクリーンをオンにする動作により、セキュリティロックの解除を要求されずに操作が可能になる。この場合は、継続使用時間を算出する際、自動消灯によりスクリーンがオフになった時点において

^{†1} (株) KDDI 研究所
KDDI R&D Laboratories Inc.

^{†2} 兵庫県立大学大学院 応用情報科学研究科
University of Hyogo, Graduate School of Applied Informatics

も携帯電話の使用が継続していたとみなす。

2. データ収集実験

本章では、携帯電話の使用履歴を収集するために実施した2種類の実験について述べる。両実験の主な違いは、被験者が所持する携帯電話の違いであり、実験1では、折りたたみ式携帯電話、実験2では、スマートフォンを利用している。このとき、実験実施期間および参加した被験者は異なる。2.1, 2.2には両実験条件の詳細、2.3には実験で利用したロガーアプリケーションの機能を示し、表1に条件の比較をまとめる。

2.1 実験1

折りたたみ式携帯電話を用いて使用履歴の記録を行う。実験では、使用履歴を収集することに事前に同意を得た被験者に対して、使用履歴を記録するためのロガーアプリケーションをインストールした携帯電話を貸与した。被験者は、実験開始前と同じ電話番号、メールアドレスを利用して実験に参加した。また、被験者へは実験終了後に謝礼が支払われた。実験に使用した携帯電話はシャープ製 SH005 である(図1)。この携帯電話は、タッチスクリーン機能はなく、キー操作で文字を入力する従来型の折りたたみ式携帯電話である。時刻等を表示するサブディスプレイはないが、携帯電話を閉じた状態でも、LEDアイコンによって電話やメールの着信が分かるようになっている。全被験者には、SH005を常に持ち歩き、通常通りに携帯電話を使用するよう指示をした。なお、実験期間中にスマートフォンを含む複数台の携帯電話を所持する被験者はいなかった。被験者は、神戸近郊に在住の24名(男性10名、女性14名)であり、平均年齢25.5歳、標準偏差1.2歳である。実験は2010年10月中旬から12月中旬にかけて、ほぼ同時期に実施し、実施期間は平均68.8日、標準偏差1.9日であった。

2.2 実験2

Android OS搭載のスマートフォンを利用して携帯電話の使用履歴の記録を行う。実験実施に際して、実験1と異なる被験者、異なる期間である。また、実験2では、携帯電話を貸与することはせずに、被験者個人が所有するスマートフォン^{*1}にロガーアプリケーションをインストールすることでデータ収集を行った。図2に実験で利用したスマートフォンの一例を示す。実験2で利用するスマートフォンは被験者個人が所有するものであり、通常通

*1 本実験において対象とした機種は、NTT Docomo Xperia SO-01B, Xperia arc SO-01C, Xperia acro SO-02C, au IS03, REGZA Phone IS04, IS05, Xperia acro IS11S, SoftBank HTC Desire X06HT, HTC Desire X06HT II の9機種を対象とした。

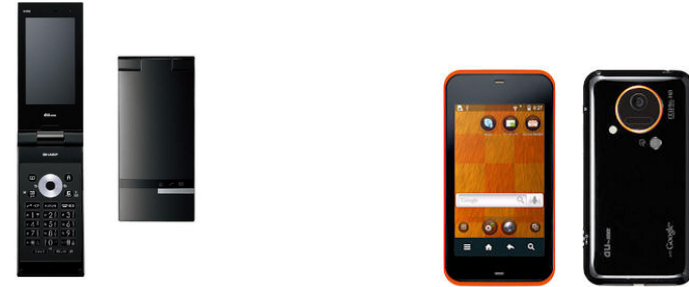


図1 実験で使用した折りたたみ式携帯電話 (au SH005) 図2 実験で使用したスマートフォンの一例 (au IS03)
Fig.1 The mobile phone used in the experiment 1. (au SH005) Fig.2 The mobile phone used in the experiment 2. (au IS03)

りに携帯電話を使用する旨の指示を行った。被験者が所有する通信用端末の有無を実験の参加条件としており、ロガーアプリをインストールするスマートフォンのみを利用していること、あるいは、ロガーアプリをインストールするスマートフォンとそれ以外の携帯電話の合わせて2台を利用していることを参加条件とした。なお、スマートフォンを2台以上所有する方は参加条件から除外している。実験終了時には、実験1と同様に謝礼が支払われた。スマートフォンは折りたたみ式の携帯電話と異なり、大画面でタッチスクリーン機能を有しており、携帯電話を開閉する動作を行うことなく、ユーザが利用できるという特徴がある。被験者は、東京近郊に在住の112名(男性57名、女性55名)であり、平均年齢37.8歳、標準偏差11.2歳である。実験は2011年9月末から12月中旬にかけて、ほぼ同時期に実施し、実施期間は平均86.1日、標準偏差2.8日であった。

2.3 ロガーアプリケーション

前述した2つの実験においてデータ収集を行うために開発したアプリケーションについて述べる。各実験において、対象とした携帯電話端末が異なるため、本研究では2つのロガーアプリケーションを開発した。実験1には、クアルコムのBrew4.0⁶⁾上で動作するアプリケーション、実験2には、Android 2.1, 2.2, 2.3上で動作するアプリケーションを用いた。2つのロガーアプリケーションの機能はほぼ同等であり、携帯電話を使用するタイミングを記録できる。実験1に用いるアプリケーションは、携帯電話を開けた時刻と閉じた時刻を1秒単位で自動的に記録することができる。また、実験2に用いるアプリケーションは、スクリーンがオンになった時刻とオフになった時刻、およびセキュリティロックが解除

された時刻を1秒単位で自動的に記録することができる。本実験の目的は、被験者が通常利用を行う際の使用履歴を収集することであるため、アプリケーションを動作させることにより、被験者の通常利用の妨げになることがないように設計した。両アプリケーションとも、携帯電話端末のバックグラウンドで常時動作し、Webサイトへのアクセスやメールの送受信などの通常利用の際に必要なアプリケーションとの共存が可能である。

表 1 実験条件の比較
Table 1 A comparison of the experiment condition.

| | 実験 1 | 実験 2 |
|---------|--------------------------|--|
| 携帯端末 | 折りたたみ式携帯電話 | スマートフォン |
| OS | Brew 4.0 | Android 2.1, 2.2, 2.3 |
| 実験期間 | 2010年10月中旬から12月中旬 | 2011年9月下旬から12月中旬 |
| 実験日数 | 68.8日 | 86.1日 |
| 被験者数 | 24名 | 112名 |
| 被験者平均年齢 | 25.5歳 | 37.8歳 |
| ロガーアプリ | Brew 対応ロガー 端末の開閉時刻を記録 | Android 対応ロガー 端末のスクリーンのオン/オフを記録 ロック解除有無を記録 |

3. 実験結果および考察

ロガーアプリケーションによって収集された使用履歴を集計し、携帯電話の使用回数と継続使用時間を求める。まず、実験結果を分析するにあたり、べき乗則について述べる。 $p(x_i)$ を継続使用時間 x_i に関する確率密度関数とすると、継続使用時間がべき乗則に従う場合は次式で近似できる。

$$p(x_i) = Cx_i^{-\alpha} \quad (1)$$

ここで、 α はべき指数、 C は定数である。このとき、継続使用時間の分布を両対数グラフに表すと、べき乗則に従う区間は直線でプロットされる。また、継続使用時間に関する累積分布関数 $F(> x_i)$ は、次式で算出される。

$$F(> x_i) = \sum_i^{\infty} p(x_i) \quad (2)$$

(1)式により、

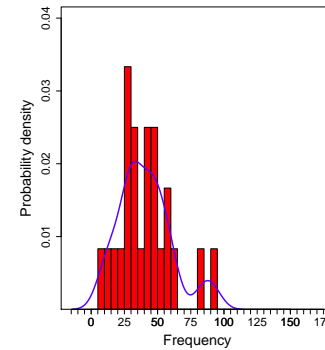


図 3 実験 1 における使用回数の分布

Fig. 3 A distribution of the usage frequency in experiment 1.

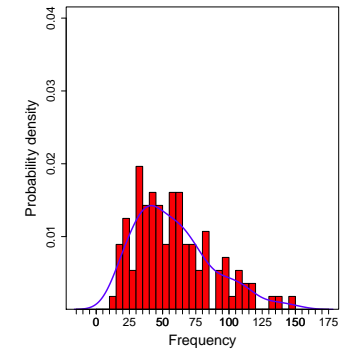


図 4 実験 2 における使用回数の分布

Fig. 4 A distribution of the usage frequency in experiment 2.

$$F(> x_i) = C'x_i^{-(\alpha-1)}. \quad (3)$$

ここで、 C' は定数である。 $p(x_i)$ と同様に、 $F(> x_i)$ を両対数グラフに示すと、べき乗則に従う区間は直線になる。このとき、 $F(> x_i)$ の勾配は $p(x_i)$ に比べて緩やかになる。

3.1 使用回数の比較

実験1と実験2における携帯電話の使用回数の分布をそれぞれ図3、図4に示す。ピン幅を5回とし、ヒストグラムの描画を行った。また、青線で密度曲線を描画する。1日の平均使用回数に関して、折りたたみ式携帯電話を利用した実験1では40.9回であるが、スマートフォンを利用した実験2では、58.0回であり、約1.5倍の規模に増加した。実験1(図3)では、1日あたりの平均使用回数が35回周辺にピークがある分布である一方で、実験2(図4)では、45回周辺にピークがある。また、1日あたり100回以上使用する被験者が確認できる。このことから、スマートフォン利用時の使用回数は折りたたみ式携帯電話利用時に比べて多くなっていることが分かる。スマートフォンは従来型の折りたたみ式携帯電話に比べて、トラフィックが増加することが言われているが、1日の中で使用される回数自体が増加していることも明らかになった。

3.2 継続使用時間の比較

収集した携帯電話の継続使用時間を5秒毎に集計を行った結果の一例を図5、図6、図7、

表 2 短時間帯と長時間帯抽出用パラメータ
Table 2 The parameters for extracting the short term and the long term.

| パラメータ名 | 実験 1: 設定値 [min.] | 実験 2: 設定値 [min.] |
|------------|------------------|------------------|
| 変化点候補の開始時間 | 2 | 5 |
| 変化点候補の終了時間 | 10 | 15 |
| 探索区間の開始時間 | 0.2 | 0.1 |
| 探索区間の終了時間 | 50 | 60 |
| 短時間帯の最小時間幅 | 1 | 3 |
| 長時間帯の最小時間幅 | 10 | 20 |

図 8 に示す．図 5, 図 6 は実験 1 で折りたたみ式携帯電話を利用した場合の継続使用時間の $p(x_i)$, $F(> x_i)$ である．図 7, 図 8 は実験 2 でスマートフォンを利用した場合の継続使用時間の $p(x_i)$, $F(> x_i)$ である．本稿では, 継続使用時間に関する累積分布を利用して検討する．

図 6, 図 8 では, 10 分前後を境界とし, 前後の分布の傾向が変わる変化点がある．変化点の前後では, 両対数グラフ上で直線近似ができる区間であり, 本稿では, 前半区間を短時間帯, 後半区間を長時間帯と呼ぶことにし, 連続する 2 つの区間および変化点の自動抽出を行う．変化点を t , 短時間帯のべき指数を α_s , 長時間帯のべき指数を α_l とすると, 継続使用時間の分布は次式で表される．

$$F(> x_i) = \begin{cases} C_s x_i^{-(\alpha_s-1)} & (x_i \leq t) \\ C_l x_i^{-(\alpha_l-1)} & (x_i > t) \end{cases} \quad (4)$$

ここで, C_s, C_l は定数である．実験で得られたデータから分布関数を同定する際, 変化点候補の開始時間, 変化点候補の終了時間, 探索対象の開始時間, 探索対象の終了時間, 短時間帯の最小時間幅, 長時間帯の最小時間幅をパラメータとして定める．設定したパラメータを表 2 に示す．なお, パラメータ値は経験的に決定した．

べき乗則への自動近似を行うため, 条件を満たす短時間帯候補と長時間帯候補のペアを当たりで作成し, 最適な区間を抽出する．このとき, 区間抽出は AIC⁽⁷⁾ に基づいて実施され, 短時間帯候補の AIC と長時間帯候補の AIC が算出され, AIC の和が最小になるペアが求める時間帯として抽出され, 2 つの区間が切り替わる時点を変化点として定める．

図 6 を例に挙げると, 継続使用時間 9.17 分が変化点と定まり, 短時間帯 ($1.67 < x_i \leq 9.17$) では, $\alpha_s - 1 = 0.719$ となり, 長時間帯 ($9.17 < x_i < 50$) では $\alpha_l - 1 = 1.460$ として近似される．共に有意水準 0.1% で有意であり, 決定係数はそれぞれ 0.9962, 0.9968 である．

同様に, 他の被験者の継続使用時間の累積分布は, 個人差はあるものの短時間帯と長時間帯において, 有意水準 0.1% を満たすべき乗則に近似することができ, 実験 1 では決定係数の平均はそれぞれ 0.9928, 0.9919 であり, 実験 2 ではそれぞれ 0.9921, 0.9751 である．実験 1 では, 累積分布に関する短時間帯のべき指数 $\alpha_s - 1$ は 0.5 から 1.1 の範囲に多く, 長時間帯のべき指数 $\alpha_l - 1$ は 0.7 から 1.6 の範囲に多い．つまり, 折りたたみ式携帯電話のべき指数 α_s, α_l は, 短時間帯では, 1.5 から 1.9 の範囲に多く, 長時間帯では 1.7 から 2.6 の範囲に多いといえる．また, 大多数の被験者において, 短時間帯のべき指数 α_s は長時間帯の値 α_l に比べて大きく, 被験者毎に異なるべき指数を持つことが分かった．同様に, 実験 2 では, 累積分布に関する短時間帯のべき指数 $\alpha_s - 1$ は, 0.7 から 1.5 の範囲に多く, 長時間帯のべき指数 $\alpha_l - 1$ は 1.3 から 3.3 の範囲に多い．スマートフォンの場合のべき指数 α_s, α_l は, 短時間帯では, 1.7 から 2.5 の範囲に多く, 長時間帯では 2.3 から 4.3 の範囲に多いといえる．表 3 に, 得られたべき指数をまとめる．また, 変化点が存在する時間帯に関して, 実験 1 では 5 分から 10 分の間に多いが, 実験 2 では遅くなり 10 分から 15 分の間に多い．

本実験の結果より, 継続使用時間に関して, 変化点の前後で携帯電話の使用スタイルが異なる可能性が示唆された．短時間帯のべき指数は長時間帯のべき指数に比べて, 実験に利用した携帯電話のタイプに依存せずに小さな値を示した．このことは, 短時間帯の使用は, 長時間に及び使用に比べて, 継続使用が起こりやすいことを意味する．一方で, 継続使用時間が 10 分から 15 分を超えて, 継続使用が長時間に及びことは非常に稀なケースになるといえる．

また, 実験 1 と実験 2 の結果を比較すると, スマートフォン利用時 (実験 2) の方が, 折りたたみ式携帯電話利用時 (実験 1) に比べて, 短時間帯, 長時間帯ともにべき指数が大きい．このことはスマートフォン利用時には, 変化点の前後とも継続使用時間が短いことを表している．ただし, 本稿では, 折りたたみ式携帯電話とスマートフォンの「使用」に関する定義が異なるため, スマートフォンと折りたたみ式携帯電話の継続使用時間の詳細な検討は今後の課題である．

4. おわりに

折りたたみ式携帯電話とスマートフォンといったタイプの異なる携帯電話利用時のユーザの使用履歴に着目し, 実環境下で約 2ヶ月間あるいは約 3ヶ月間におよぶ 2 つのデータ収集実験を行った．その結果, 折りたたみ式の携帯電話はスマートフォンよりも使用回数が少な

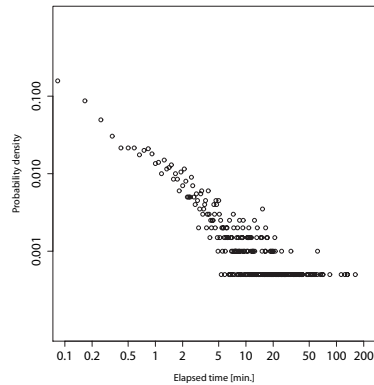


図 5 折りたたみ式携帯電話利用時の継続使用時間に関する確率密度 $p(x_i)$ (実験 1)
Fig. 5 The distribution of $p(x_i)$ in the experiment 1.

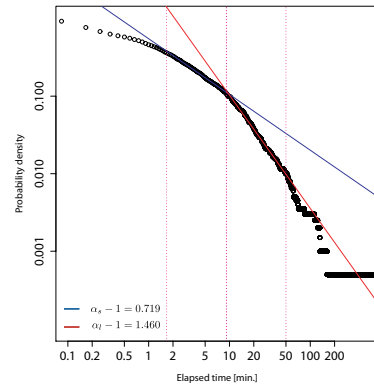


図 6 折りたたみ式携帯電話利用時の継続使用時間に関する累積確率密度 $F(> x_i)$ (実験 1)
Fig. 6 The distribution of $F(> x_i)$ in the experiment 1.

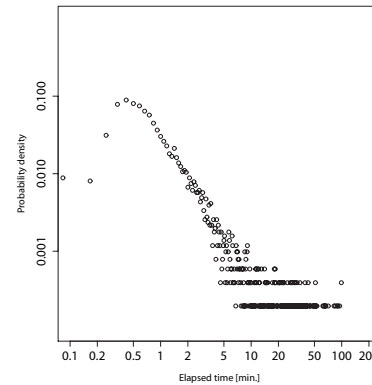


図 7 スマートフォン利用時の継続使用時間に関する確率密度 $p(x_i)$ (実験 2)
Fig. 7 The distribution of $p(x_i)$ in the experiment 2.

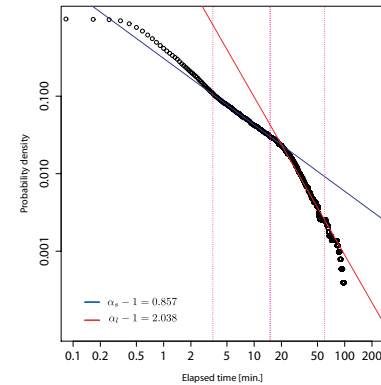


図 8 スマートフォン利用時の継続使用時間に関する累積確率密度 $F(x_i)$ (実験 2)
Fig. 8 The distribution of $F(> x_i)$ in the experiment 2.

表 3 実験結果より得られたべき指数

Table 3 The power-law index in the empirical data.

| | | α_s | α_t |
|------|------------|------------|------------|
| 実験 1 | 折りたたみ式携帯電話 | 1.5 ~ 1.9 | 1.7 ~ 2.6 |
| 実験 2 | スマートフォン | 1.7 ~ 2.5 | 2.3 ~ 4.3 |

いことが実験結果により示された。また、携帯電話を利用する際の継続使用時間の特徴として、利用する携帯電話のタイプがどちらであっても、被験者の継続使用時間はある 2 つの区間においてべき乗則に従うことが分かった。べき乗則に従う区間とは、個人差はあるが 5 分から 15 分にかけての短時間帯と、50, 60 分程度までの長時間帯の 2 つの時間帯である。この時間帯は連続しており、ある変化点を境界として、携帯電話使用時の特徴が異なり、また、べき指数および変化点の時間帯には個人差がある。分布の変化点は、折りたたみ式携帯電話の場合では、5 分から 10 分の間に存在し、スマートフォンの場合では 10 分程度から 15 分程度の範囲に存在することが多い。変化点とその時間帯に現れる理由、および変化点が存在する理由についての検討は今後の課題とする。

本稿で対象とした操作は、携帯電話の開閉状態あるいは、スクリーンのオン、オフといった単純なデータのみであり、実際の操作内容は扱っていない。利用したアプリケーションの履歴を分析することによって、分布の変化点の存在意義を明らかにすることに繋がる可能性

がある。今後は、本稿で扱った単純な使用履歴に加えて、アプリケーション履歴を同時に扱う予定である。

参考文献

- 1) R. Albert, H. Jeong, A. Barabasi, "Diameter of the World-Wide Web", Nature, Vol.406, pp.378–382, 2000.
- 2) M. E. J. Newman, "The Structure of Scientific Collaboration Networks", Proceedings of the National Academy of Sciences of USA 98, pp.409–415, 2001.
- 3) L. Adamic, O. Buyukkokten, E. Adar, "A social network caught in the web", First Monday, Vol.8, No.6, 2003.
- 4) A. L. Barabasi, R. Albert, "Emergence of scaling in random networks", Science, Vol.286, pp.509–512, 1999.
- 5) Y. Wu, C. Zhou, J. Xiao, J. Kurths, H. J. Schellnhuber, "Evidence for a bimodal distribution in human communication", Proceedings of the National Academy of Sciences, Vol. 107, No.44, pp.18803–18808, 2010.
- 6) BREW, Binary Runtime Environment for Wireless, Website: available from (<http://www.brewmp.com/>, Qualcomm) (accessed 2012/2/8).
- 7) H. Akaike, "Information theory and an extension of the maximum likelihood principle", 2nd International Symposium on Information Theory, Petrov, B. N., and Csaki, F. (eds.), Akademiai Kiado, Budapest, pp.267–281, 1973.