

80 生体のカオス性によるドライバーの精神負荷状態評価*

苗 鉄軍¹⁾ 清水 俊行¹⁾ 下山 修²⁾

The Use of Chaotic Dynamics in Finger Photoplethysmography to Assess Driver Mental Workload

Tiejun MIAO Toshiyuki SHIMIZU Osamu SHIMOYAMA

The development of a variety of IT/ITS in-vehicle information systems has enhanced mobility and convenience, while they may also distract drivers and introduce a significant workload. This paper studied a method used to assess driver status and mental workload. Human finger photoplethysmograms (PGT) recordings were made in the experiments in both automobile test course and real driving road environments. It showed that complexity analysis based on chaotic dynamics of the photoplethysmograms could characterize the changes in the driver mental workload.

Keywords: Human Engineering, Mental Workload, Photoplethysmogram, Chaotic Dynamics

1. まえがき

運転中のワークロードマネージメントは、運転支援システム設計にとっては重要な問題の1つである。走行中ドライバーに与える精神負荷状態をリアルタイムに観測し評価することは安全・快適に対して重要な課題と考えられる。なぜなら、自動車と交通環境の複雑化は、運転支援システムとITシステムの整備が進むに伴い、簡単にドライバーのワークロード限界を超え、運転のパフォーマンスを著しく低下させている^(1,5)。脳波(EEG)あるいはfMRIスキャンに基づくメンタルワークロードの評価は実車応用にはまだ遠い。実用的なモニタリング方法はいろいろなタスク条件の下でロバスト性を持ち簡単に測定可能で、かつ敏感で連続的にメンタルワークロードの監視ができる必要性及び要求がある。生理測定としての指先脈波を使用することはその要求を満足させる方法の一つである。更に、指先脈波のカオス分析が研究され、それを利用した心身状態の評価が有効であることがわかってきた⁽²⁻³⁾。

本研究では指先脈波のカオス動力学に基づいて、ドライバーのワークロードを観測し、評価方法を確立することを目的としている。自動車テストコース実験と高速道の実験を行い、この方法の検証を行った。

2. 測定とデータ処理方法

被験者(ドライバー)は3人(S1-S3)の健康な男性で、日産自動車追浜ブルーピングランド高速周回路において実験を行った。本テストコースは、2つの直線部分とバンク部から構成されている。

高速道の実験では、前述の被験者とは別の健康な男性2人を被験者とし、九州自動車道と山陽・中国自動車道で行った。これらの実験中、連続的に脈波を記録し、そのカオス指標の算出を行った。

指先脈波の測定器は赤外線発光ダイオードとフォトトランジスタで構成されている。末端の血液容積変化はセンサーを指に取り付けて測定した。Fig. 1は実験中センサーを指に付けた時のものである。



Fig.1 Recording driving finger photoplethysmogram

測定したデータはA/D変換してPCに取り込む。サンプリング周波数は200Hzで分解能は12-bitである。データの前処理(de-noise)は、フィルターとしてWavelet変換技術を使用した。つまり、体動などartifacts信号を検出して対応するwavelet係数をゼロに設定して信号の再構成(逆wavelet変換)を行った。

時系列データから時間遅れ法によって状態空間の再構成ができる。この状態空間において動力学的な不変量として、カオス解析から最大Lyapunov指数の計算ができる。これは状態空間内におけるアトラクタの状態の軌道不安定性(発散性)を現し、カオス性を示す指標である⁽⁶⁾。

指先脈波のカオス解析をする時の時間遅れは50msで、埋め込み次元は4とした。最大Lyapunov指数1の時間的変化を推定するように、連続的なデータに対して18secのsliding windowを用いて、ステップ1secによるsliding的なデータ分割と計算をした。更にこの1の時間的変化の構造を考察するために、DFA(Detrended Fluctuation Analysis)法⁽⁴⁾を用い、1の変化規則を調べた。Fig.2に示したように、DFAでは、一般的にcrossoverポイントがあり、それによって左右2つの時間スケール領域に分けられる。即ち、Shortスケール域はPower-Law指数1で特徴付けられ、Longスケール域の方は指数2で特徴付けられる。ここに、

* 2003年5月21日自動車技術会春季学術講演会において発表
1) コンピュータコンビニエンス(株)(〒812-0011福岡市博多区博多駅前3-6-1小森ビル)
2) 日産自動車(株)(〒237-8523神奈川県横浜須賀野市夏島町1)

n は時間の window となると、対応する Detrended した累積分散は $F(n)$ である。

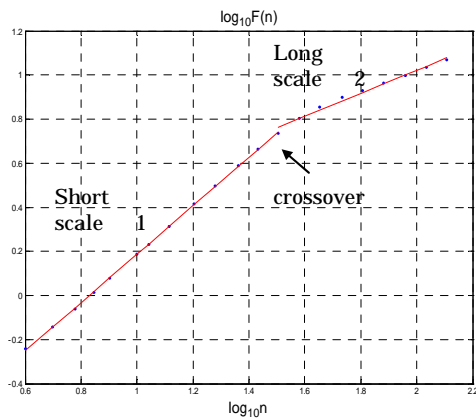


Fig.2 DFA method and plot

3. 実験結果と考察

自動車テストコースにおける実験結果をまとめる。テストコース走行時に測定した指先脈波をカオス解析し、最大 Lyapunov 指数 λ_1 の時系列変化を得た。循環的な走行に応じ、その時間的な典型変化様子を Fig.3 に示す。 λ_1 は、コースの直線、バンク(カーブ)の構造に対応して、ほぼ周期的に変動していることが分かる。

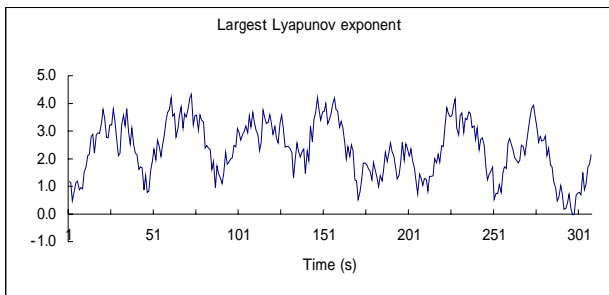
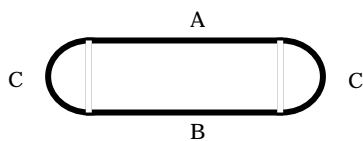


Fig.3 Temporal changes in the largest Lyapunov exponent during a cyclic test course driving

走行速度は 50、80、120 km/h であった。それぞれの部分(直線、バンク)について、走行速度と λ_1 の平均値の関係を Fig.4 に示す。直線部(A、B)と比べると、バンク部(C)では Lyapunov 指数が大きくなっている。 λ_1 は状態空間の軌道発散性と情報の生成率を定量化し、生体システムのカオス性を表すため、バンク C において活発な情報処理が行われ、大きいメンタルワークロードまたは精神負荷状態を生じていることが分かる。

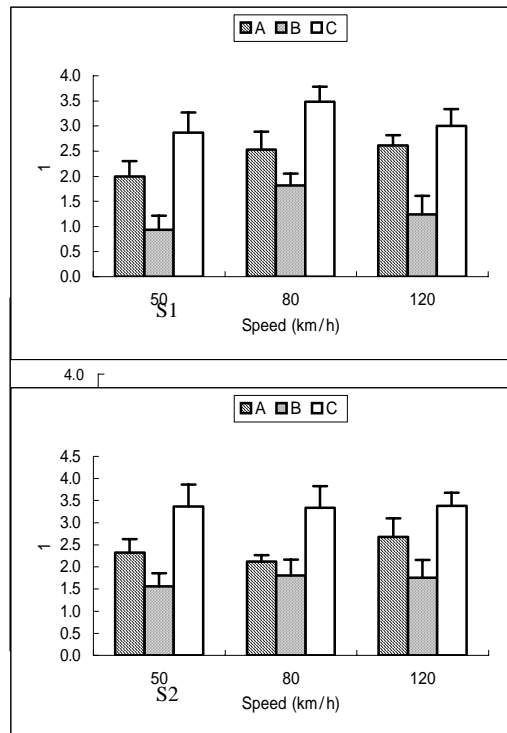


また、被験者間の比較を見ると、被験者 S1 はコース全体走行速度が大きければ大きいほど λ_1 が大きくなるのに対して、被験者 S2 と S3 は明確な傾向を示さなかった。これらの結果の原因について、考えられる可能性として

は、人間は、走行速度の変化による精神負荷状態の調整はし易いが、カーブなどの道路状況に対して生じたメンタルワークロードの調整は難しいと言えるかも知れない。

更に DFA の時系列分析を用いてコースの走行による λ_1 の時間変化と走行速度の関係を調べた。(Fig.5 と 6)

ここでは Power-Law の関係が得られ、 λ_1 のダイナミクスが自己相似構造を持つフラクタルであることが分かった。Short スケールと Long スケール領域を分ける平均的な Crossover 点は 32 秒になり、この左右の Power-Law 指数 β_1 と β_2 によって特徴を表すことができる。Fig.5 と 6 に示し



たように Short は速度に対して Long 数 β_2 はの時に 1.0 の値を持っている。即ち、性を持ってい発生に関係すらざが出現し、行を快適に感と考えられる。

S3

時間スケールの指数 β_1 違いは認められないの時間スケール領域の指数 β_2 は 80(km/h) ドライビングになってくることを示最も大きい長距離相関る。これは、指先脈波の自律神経系に $1/f$ ゆ被験者がこの速度の走っている可能性がある

Fig.4 Averaged values of λ_1 in portions of A, B and C for driving speeds of 50, 80, and 120km/h. Subjects 1-3 corresponding from top to bottom graphs

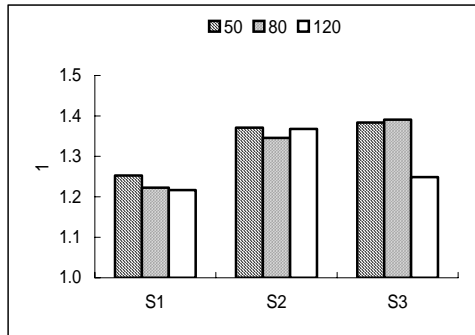


Fig.5 Relations of Power-Law exponent 1 to driving speeds for subjects S1-S3

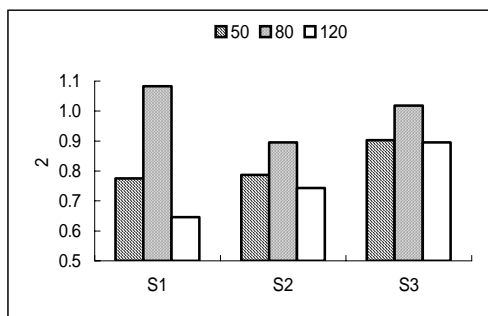


Fig.6 Relations of Power-Law exponent 2 To driving speeds for subjects S1-S3

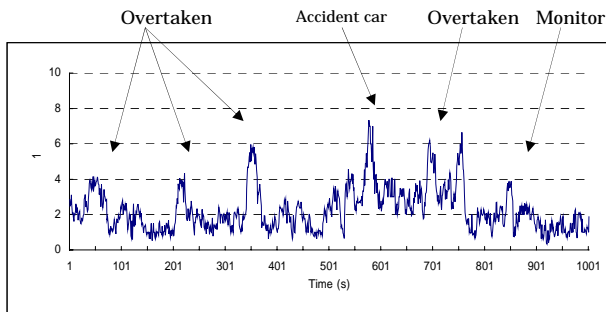


Fig.7 Changes in 1 during a high way driving

次に実際に高速道路上で同様の走行実験を行い、提案した方法の検証を行った。

九州自動車道（北熊本～筑紫野 IC）を走行して指先脈波を測定し、最大 Lyapunov 指数 1 の連続変化を Fig.7 にプロットした。

ここに見られる通り、様々な走行環境 1 とのよい一致性が観測できた。このことは、実際の高速道路走行でもドライバーの精神負荷状態とメンタルワークロードを有効に記述することが可能であることを示している。

4. まとめ

様々な状況において自動車を運転しているときに、ドライバーの心身負荷状態、いわゆるメンタルワークロードを評価する方法として、指先脈波のカオス動力学的有用性を検討した。

テストコースにおける異なる速度の走行実験および高速道路の実験の結果、最大 Lyapunov 指数はドライバーのメンタル負担状態の有効な指標であることが分かった。

今後さまざまなワークロードについて、タスク条件を設けて実験を重ねると同時に、DFA による詳細な 1 の時間変化機構を追及したい。

また、ECG、RR 間隔、呼吸などの生理指標を比較し、本方法の有用性と車載実用性についてさらに検討する予定である。

参考文献

- (1) Green, P: International Incidents, *ITS World*, Jan./Feb. 2001.
- (2) Tsuda I, Tahara T, Iwanaga I: Chaotic pulsation in capillary vessels and its dependence on mental and physical conditions, *Int J Bifurcation and Chaos*, Vol.2, p.313-324 (1992).
- (3) Sumida T, Arimitu Y, Tahara T, Iwanaga H: Mental conditions reflected by the chaos of pulsation in capillary vessels, *Int J Bifurcation and Chaos*, Vol.10, p.2245-2255 (2000).
- (4) Peng CK, Havlin S, Stanley HE, Goldberger AL: Quantification of scaling exponents and crossover phenomena in nonstationary heart beat time series, *CHAOS*, Vol.5, p.82-87 (1995).
- (5) Wierwille, W: A visual and manual demands of in-car controls and displays. In: B. Peacock & W. Karwowski (Eds.), *Automotive Ergonomics*, Washington DC, Taylor & Francis, 1993, p.299-320.
- (6) 合原一幸、池口徹、山田泰司、小室元政: カオス時系列解析の基礎と応用、産業図書株式会社、2000.