

スタンダード MIDI ファイルステガノグラフィとその能力

井上大介[†] 松本 勉^{†,††}

ステガノグラフィは真に伝えたい情報を見せかけの媒体の中に埋込み伝送するという方法で、通信行為の存在を秘匿することを目指す研究分野であり、画像、音声、テキストなど様々な媒体を用いたステガノグラフィ方式が研究されてきている。本論文では、楽曲の演奏データとして広く利用されているスタンダード MIDI ファイル (SMF) を媒体とするステガノグラフィ方式 —SMF ステガノグラフィ— を提案し、それが媒体の演奏音をまったく変化させることなく、ファイルサイズに対して平均約 1 [%] の情報を埋込むことができる能力を持つことを実験的に実証する。また、クオンタイズと呼ばれる音の時間情報の操作を適用することで、SMF に埋込むことのできる情報量が向上することを実証する。さらに、SMF ステガノグラフィの安全性についての議論を行う。

Standard MIDI Files Steganography and Its Power

DAISUKE INOUE[†] and TSUTOMU MATSUMOTO^{†,††}

Steganography aims to make communication invisible by hiding genuine information in innocuous cover object. Several steganographic schemes that use image, sound, text, etc. as cover object have been developed. In this paper, we describe the SMF steganography that enables the secret information to be concealed in standard MIDI files (SMFs) without changing their sound. To clarify the power of SMF steganography, we experimentally estimated the size of information that SMF can secretly hold for over 300 SMFs available in the Internet. We found that the average embedding rate, which is the percentage of embedded data to cover object, was about 1%. We also clarified that the quantize function, which aligns the timing of note events, increases the capacity of secret information. Moreover, we discussed the security of SMF steganography.

1. はじめに

ステガノグラフィは真に伝えたい情報を別の媒体の中に埋込んで伝送することによって、通信当事者以外のエンティティに対して通信の存在そのものを秘匿することを目的とした研究分野である。暗号通信が通信内容の守秘を目的としているのに対し、ステガノグラフィにおける守秘の対象は通信行為そのものであり、ステガノグラフィ技術は暗号通信とは異なる観点から通信の守秘性を向上させる技術である。ステガノグラフィはまた、暗号技術がそうであるように、犯罪行為などに利用される危険性をあわせ持つ。ステガノグラフィの研究は、それが不正行為に利用された際の検出の困難さを明らかにするという意味においても重要である。

本論文では、楽曲の演奏データファイルの標準規格であるスタンダード MIDI ファイル (以下、SMF) を媒体とするステガノグラフィ方式 —SMF ステガノグラフィ— を提案し、その能力を明らかにする。SMF を媒体とした情報ハイディング技術の研究事例は少なく、公表資料としては著者らの提案¹⁾が最初のものと思われる。これ以外には岩切らによって、可変長データへの埋込方式、ペロシティおよびデルタ・タイムへの埋込方式などが提案されている⁵⁾。可変長データへの埋込方式は、本来省略されるべき冗長なデータを付加することによって情報を埋込む方式であり、埋込の結果、SMF の規格を厳密には満たさない SMF が生成される。ペロシティとデルタ・タイムへの埋込方式は、音量およびタイミングを示すパラメータの下位ビットに情報を埋込む方式であり、SMF の演奏音を微小ながら変化させる。一方、SMF ステガノグラフィでは SMF を規格から逸脱させることなく、また演奏音をまったく変化させることなく情報を埋込むことが可能

[†] 横浜国立大学大学院工学研究科
Graduate School of Engineering, Yokohama National University

^{††} 横浜国立大学大学院環境情報研究院
Graduate School of Environment and Information Sciences, Yokohama National University

本論文は研究発表論文^{1)~4)}の内容を総括するものである。

である。

以下、2章で MIDI および SMF の概要を述べ、3章で SMF ステガノグラフィの提案を行う。4章では SMF に埋込むことのできる情報量を明らかにし、その情報量を増加させる試みを 5章に示す。6章では提案するステガノグラフィ方式の安全性について議論し、7章でまとめる。

2. MIDI と SMF^(6),7)

MIDI (Musical Instrument Digital Interface) はデジタル楽器やコンピュータなどの相互接続方法や音楽データの記述方法を規定する規格であり、現存するほぼすべてのデジタルシンセサイザは MIDI 規格に準拠している。

SMF は MIDI の標準ファイルフォーマットであり、端的にいえばデジタル化された楽譜である。ソフトウェアシンセサイザの登場によって、汎用的な OS 上で SMF を再生することが容易になり、SMF はインターネットで楽曲を発信するための一手段として広く用いられるようになった。

2.1 SMF のフォーマット

SMF にはフォーマット 0/1/2 の 3 種類のフォーマットが存在する。ただし、実際に使用されることが多いのはフォーマット 0 もしくはフォーマット 1 の SMF である⁽¹⁰⁾。フォーマット 0 の SMF は最大で 16 チャンネルの演奏データを単一のトラックに記録する。フォーマット 1 の SMF は複数のトラックで構成され、各トラックごとに最大 16 チャンネルの演奏データを記録できる。インターネットで公開されている SMF のほとんどは、1 系統の MIDI (16 チャンネル以内) でコントロール可能な演奏データであり、このような SMF の場合、フォーマット 0 および 1 は相互に変換可能である。

2.2 SMF のノート情報

SMF では、1 つの音符の情報はノート・オンとノート・オフという、それぞれ発音と消音を表す 2 つの MIDI イベントとして記述される。これら 2 つの MIDI イベントは、ステータス・バイト、ノート番号、ペロシティの 3 つの情報 (それぞれ 1 [byte]) が連結された次のような形式を持つ。

ノート・オン: $9cH\ kk\ vv$

ノート・オフ: $8cH\ kk\ vv$

ステータス・バイト ($9cH$ または $8cH$) の上位 4 [bit]

は MIDI イベントの種類を表し、下位 4 [bit] はチャンネル ($c = 0, 1, \dots, 15$) を表す。なお、ステータス・バイトが直前のメッセージのそれと同じである場合はランニング・ステータスと呼ばれる情報圧縮の規則が適用可能であり、2 番目以降のステータス・バイトは省略することができる。ノート番号 ($kk = 0, 1, \dots, 127$) は音程を表し、鍵盤中央 C を 60 として半音単位で値が割り当てられている。ペロシティ ($vv = 0, 1, \dots, 127$) は打鍵の速さを表す値で、ノート・オン・ペロシティは音の強さを表し、ノート・オフ・ペロシティは一般に音色のリリース・タイムのコントロールに利用される。ただし、ペロシティ 0 のノート・オンは、ノート・オフと同様に消音情報として扱われる。

3. SMF ステガノグラフィ^(1),2)

SMF ステガノグラフィは、情報の埋込 (embedding)・伝送 (transmitting)・抽出 (extracting) という 3 つのプロセスからなり、これはステガノグラフィの一般的なモデル⁽¹¹⁾と一致する (図 1)。

- **Embedded data**: SMF ステガノグラフィで真に伝えたい情報。任意のビット列。
- **Cover SMF**: Embedded data を埋込む媒体となる SMF。フォーマット 0 かつ符割を基準とした時間単位を使用した SMF。
- **Stegokey**: SMF ステガノグラフィを行うエンティティ間で共有する、埋込と抽出の際に使用される鍵。
- **Stego SMF**: Cover SMF に embedded data を埋込むことによって生成される SMF。これがエンティティ間で伝送される。

3.1 SMF ステガノグラフィの特長

SMF ステガノグラフィは以下のような特徴を持つ。

- (1) SMF の演奏音は embedded data を埋込む前後でまったく変化しない。
- (2) Cover SMF にランニング・ステータスが適用されていない場合、埋込の前後でファイルサイズは変化しない。
- (3) Stego SMF は、SMF 規格としての整合性を完全に満たす。

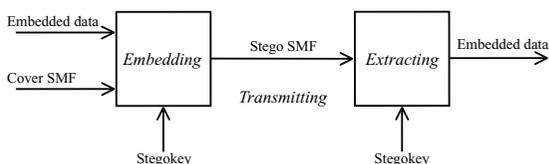


図 1 SMF ステガノグラフィの概略図
Fig. 1 Outline of SMF steganography.

現在、MIDI 規格の管理は音楽電子事業協会⁽⁸⁾の MIDI 規格委員会と MMA⁽⁹⁾が行っている。

(4) Stegokey を持たないエンティティには, embedded data の抽出は困難である.

3.2 基本アイデア

SMF は, ノート情報がデルタ・タイムと呼ばれるイベント間の時間間隔を示す情報に連結されて, 1 次的に配置されたデータ形式を持つ. SMF で同時に実行されるノート情報は, デルタ・タイム 0 で互いに連結されており, MIDI 規格ではそれらの記述順序については特に規定していない. つまり, 同時実行されるノート情報は, デルタ・タイム 0 を挟んで互いに並べ替えが可能であり, 並べ替え後も演奏データとしての意味は保存される (換言すれば, 演奏音はまったく同じに聞こえる).

たとえば図 2 の上図では, 同時に発音されるノート情報が, $C, E, G\sharp$ という順序で表記されているが, これを $G\sharp, C, E$ と並べ替えても, 実際に演奏される音はまったく同じものとなる. SMF ステガノグラフィではこの SMF 内におけるノート情報の表記方法の多様性を利用して情報の埋込を行う.

以下では, 同時実行されるノート・オンおよびノート・オフの集まりを同時ノート (simulnote) と呼ぶこととし, n 個のノート情報から構成される同時ノートを n 音同時ノート (n -simulnote) と表記する. SMF ステガノグラフィでは, 同時ノートを構成する, デルタ・タイム 0 で連結されたノート・オンおよびノート・オフのそれぞれに対して, 一定の規則で順位付けを行う. このノート情報への順位付けによって, ある同時ノートが与えられたときに, それを特定の数字の並び (以下, 順位と呼ぶ) と見なすことが可能となる. そこで, それぞれの順位に情報を割り当てておき, 同時ノートを構成するノート情報を, 意図した埋込情報に割り当てられた順位のとおりにならべ替えることで, 同時ノートに情報を埋込むことができる.

3.3 ノート情報の順位付け規則

同時ノートを構成する各ノート情報の順位付けには, ノート番号, チャンネル, イベントの種類 (ノート・オン or オフ), ベロシティの 4 つのパラメータを利用する. 以下にノート情報への順位付け規則を示す.

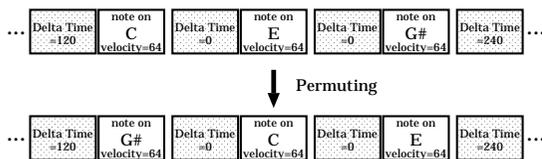


図 2 同時ノートの並べ替え

Fig. 2 Permuting note events.

規則 . 1 ノート番号が小さい (音程が低い) ほど順位が高い.

規則 . 2 ノート番号が同一の場合, チャンネルが小さいほど順位が高い.

規則 . 3 ノート番号, チャンネルとも同一の場合, ノート・オフもしくはベロシティ 0 のものを順位外とする.

ここで, 規則 . 3 は同じチャンネルかつ同じノート番号のノート情報が, 同時ノートを構成するノート情報として現れる場合を考慮している. そのようなノート・オンとノート・オフ (もしくはノート・オンとノート・オン・ベロシティ 0) を入れ換えると, 多重ノート・オン/オフ と呼ばれる, MIDI 規格から逸脱した状態になり, 使用する MIDI シーケンサや音源の環境によって発音状態が大きく異なる場合がある. この多重ノート・オン/オフを避けるために, 同時ノートの中で同音程, 同チャンネルのノート情報が存在する場合, それらのうちノート・オフもしくはノート・オン・ベロシティ 0 (どちらも消音信号) のものを順位外として扱う. 順位外とされたノート情報は, 同時ノートの構成要素からは除外して, 並べ替えの際にはその同時ノートの先頭に記述する.

3.4 Stegokey

SMF ステガノグラフィでは embedded data の埋込および抽出の際に stegokey を使用する. ここでいう stegokey とは, 同時ノートが示す順位と, その順位に割り当てられるビット列の対応表であり, SMF ステガノグラフィの当事者ではない stegokey を持たないエンティティが, stego SMF から embedded data を抽出することを困難にする機能を果たす.

表 1 は, 4 音同時ノートまでに対応した stegokey の一例である (以下, n 音同時ノートまでに対応した stegokey を, n 音対応 stegokey と呼ぶ). 記号 \Leftrightarrow は, 矢印の左辺の順位に右辺のビット列が割り当てられていることを示す. n 音同時ノートの順位には, $m = \lfloor \log_2 n! \rfloor$ [bit] のビット列のすべてのパターンが, 少なくとも 1 度 (最大で 2 度) 現れるように割り当てられている. 4 音対応 stegokey を使用して, 4 音以上の同時ノートに情報を埋込む場合は, 同時ノートを構成するノート情報を 4 音単位で区切っていき, それぞれを別の同時ノートとして処理することとする. ただし, 4 音単位で区切っていったとき, 最後の余りが 1 音の場合は, 最後のノート情報には情報を埋込めない.

あるノート・オンに対応したノート・オフが現れる前に, 同チャンネル, 同音程のノート・オンが使われる状態¹⁰⁾.

表1 4音対応 stegokey の例
Table 1 An example of stegokey (up to 4-simulnote).

n 音同時ノート	順列 \leftrightarrow ビット列
2音	12 \leftrightarrow 0
	21 \leftrightarrow 1
3音	123 \leftrightarrow 00
	132 \leftrightarrow 01
	213 \leftrightarrow 10
	231 \leftrightarrow 11
	312 \leftrightarrow 00
	321 \leftrightarrow 01
4音	1234 \leftrightarrow 0000
	1243 \leftrightarrow 0001
	1324 \leftrightarrow 0010
	1342 \leftrightarrow 0011
	1423 \leftrightarrow 0100
	1432 \leftrightarrow 0101
	2134 \leftrightarrow 0110
	2143 \leftrightarrow 0111
	2314 \leftrightarrow 1000
	2341 \leftrightarrow 1001
	2413 \leftrightarrow 1010
	2431 \leftrightarrow 1011
	3124 \leftrightarrow 1100
	3142 \leftrightarrow 1101
	3214 \leftrightarrow 1110
	3241 \leftrightarrow 1111
	3412 \leftrightarrow 0000
	3421 \leftrightarrow 0001
	4123 \leftrightarrow 0010
	4132 \leftrightarrow 0011
4213 \leftrightarrow 0100	
4231 \leftrightarrow 0101	
4312 \leftrightarrow 0110	
4321 \leftrightarrow 0111	

つまり、5音同時ノートの場合は4音+1音と考えるので、埋込可能情報量は4[bit]、また8音同時ノートの場合は4音+4音と考え、埋込可能情報量は8[bit]である。

3.4.1 Stegokey の拡張

表1に、4音以上の順列とビット列の対応をさらに加えて、stegokeyを拡張することも可能である。埋込の対象となるcover SMFの性質にも依存するが、埋込の際に、より音数の多い同時ノートに対応したstegokeyを用いれば、埋込可能情報量は増加する場合が多い。たとえば、8音対応stegokeyを用いると、8音同時ノートには15[bit]の情報を埋込むことができ、先述した4音対応stegokeyを用いた場合よりも効率の良い埋込ができる。

3.5 埋込/抽出手順

SMFステガノグラフィの埋込と抽出の手順を以下に示す[A. 準備フェイズ]と[B. 埋込フェイズ]はcover SMFにembedded dataの埋込を行うエンティ

ティによる処理であり[C. 抽出フェイズ]は伝送されたstego SMFからembedded dataの抽出を行うエンティティによる処理である。

[A. 準備フェイズ]

Step A.1 Cover SMFを先頭から走査し、同時ノートを探す。

Step A.2 同時ノートを発見した場合、その同時ノートを構成するノート情報に順位付け規則を適用し、それらを順位の高い順にソートする。ただし、順位外のノート情報はソートされた同時ノートの先頭に置く。

Step A.3 すべての同時ノートについてStep A.2の処理を行った後、cover SMFの埋込可能情報量 M [bit]を算出する(embedded dataのデータ量は M 以下でなければならない)。

[B. 埋込フェイズ]

Step B.1 Cover SMFの先頭から、Step Aでソートした各同時ノートに対して順次Step B.2~B.5を繰り返す。

Step B.2 同時ノートに埋込可能なビット数分だけ、embedded dataからビット列を切り出す。

Step B.3 切り出したビット列をstegokeyのビット列と照合し、一致したものと対応している順列を選択する。一致するビット列が複数ある場合は、そのうちの1つを一樣ランダムに選択し、順列を決定する。

Step B.4 選択した順列通りに、同時ノートを構成するノート情報を並べ替える。

Step B.5 Embedded dataのすべての情報を切り出し終われば終了する。Embedded dataを埋込み終わってなお、未処理の同時ノートが残っている場合には(1) Embedded dataを再度先頭から埋込む、(2) 適当なパディング情報を埋込む、(3) そのまま処理を終了する、などのオプションが考えられる。

[C. 抽出フェイズ]

Step C.1 Stego SMFを先頭から走査し、同時ノートを探す。

Step C.2 同時ノートを発見した場合、順位付け規則を適用し、その同時ノートが示す順列を得る。ただし、順位付け規則を適用した結果、順位外と判定されたノート情報は無視する。

Step C.3 得られた順列に対応するビット列を、stegokeyを参照して得、embedded dataとして書き出す。

Step C.4 Stego SMFの最後までStep C.2~C.3の

処理を繰り返す。

4. 埋込可能情報量

ステガノグラフィでは埋込まれた情報の存在が第三者によって検出されないことを第1義とするが、一方で多くの情報を一度にやりとりできることが要求され、ゆえに埋込の対象となる媒体がどの程度の情報量を保持できるかも重要な評価基準の1つとなる。本章では、ステガノグラフィの媒体としてのSMFのポテンシャルを明らかにするために、インターネットで公開されているSMFが埋込情報として保持できる情報量(以下、埋込可能情報量と呼ぶ)を計測する。ただし、実用上の観点からはcover SMFは未公開のものを使用することが望ましい。なぜなら、公開されたSMFをcover SMFとして利用すれば、第三者はstego SMFとそれに対応したcover SMFのデータを比較することで、情報の存在を検出することが可能となるからである。

4.1 埋込可能情報量の計測

埋込可能情報量の計測の対象は、ヤマハ株式会社のWebサイト内のFree MIDI Data Library¹²⁾において、2001年11月30日現在公開されている349個のSMFのうちの324個とした。Free MIDI Data Libraryでは、SMFが楽曲のカテゴリ別に分けられており、表2のような構成となっている(括弧内はSMFのファイル数)。

埋込可能情報量の計測は、4音対応stegokeyを使用してembedded dataを埋込む場合と、8音対応stegokeyを使用して埋込む場合の2通りについて行った。計測結果は本論文末尾に付録として掲載する。付録は8音対応stegokeyを使用した際の埋込率によって昇順にソートされている。なお、埋込率は次のように定義する。

表2 Free MIDI Data Library のカテゴリ
Table 2 Categories of Free MIDI Data Library.

Classic (27)	Fanfare (3)	Filter (8)
Funky (19)	Holiday (8)	Industrial (5)
Jazz (36)	Lite (19)	Medium (36)
Pop (10)	Rock (19)	Slow (6)
Special (49)	Techno (38)	Western (6)
World (26)	Xmas (9)	SE (25)

(2001年11月30日現在)

カテゴリSE(Sound Effect)のSMFの多くは演奏時間が非常に短い効果音であり、埋込可能情報量が0[bit]のものが多い。これらは、楽曲に情報を埋込むという提案方式の想定を外れており、よって計測対象からカテゴリSEのSMFは除外した。

$$\text{埋込率} [\%] = \frac{\text{埋込可能情報量} [\text{bit}]}{\text{Cover SMF サイズ} [\text{byte}] \times 8} \times 100.$$

表3は、埋込可能情報量の計測結果を基に算出した埋込率の、最小値/最大値/平均値を、4音対応stegokeyおよび8音対応stegokeyを使用したそれぞれの場合について示している。括弧内は、その数値をつけたSMFのファイル名を表している(ただし、拡張子“.mid”は省略)。

埋込率が特に低いSMFは、鍵盤などを用いたリアルタイム入力によって作成されている可能性が高く、ノート・オン/オフのタイミングにゆらぎがみられるものが多い。また、ノート情報以外の、コントロール・チェンジ情報などが多数存在し、ファイルサイズが大きくなり、その結果、埋込率が低下しているものもあり、最も埋込率が低いbagpipe.midもその1つである。

一方、埋込率が高いSMFは、ステップ入力もしくはMIDIシーケンサのクオンタイズ機能(5章参照)を利用して作成されている可能性が高く、ノート・オンのタイミングが揃っているものが多い。その中でも、特に埋込率が高いSMFは、ノート・オフのタイミングもまた揃っている傾向が強く、発音/消音情報のどちらも埋込に利用できている。8音対応stegokeyを使用した埋込で、最も高い埋込率を示しているchoralo.midには8音前後の同時ノートが多数存在している。

図3は4音対応stegokeyおよび8音対応stegokeyを埋込に使用した場合の、Free MIDI Data LibraryのSMFの、埋込率の分布を示している。8音対応stegokeyを使用する場合の分布が、4音対応stegokeyを使用する場合と比べ、高い埋込率の方向へ遷移していることが分かる。

4.2 理想的な埋込による埋込可能情報量

2章で示したSMFステガノグラフィの埋込手法は、逐次的に同時ノートに情報を埋込むため、埋込処理が平易な反面、同時ノートごとに埋込可能な情報量を丸めて埋込んでおり、埋込の効率を犠牲にしているといえる。いま、あるSMFにおける n 音同時ノー

表3 埋込率の算出結果
Table 3 Estimated embedding rate.

	4音対応stegokey	8音対応stegokey
最小埋込率	0.04 [%] (bagpipe)	0.04 [%] (bagpipe)
最大埋込率	2.77 [%] (thmprk01)	4.01 [%] (choralo)
平均埋込率	0.92 [%]	1.21 [%]

ノート情報を実時間とは独立に、個別入力していく方法。音符による入力や数値入力など様々な方法がある。たとえば3音同時ノートは理想的には $\log_2 3! \cong 2.58$ [bit]の情報を保持できるが、提案手法では $\lfloor \log_2 3! \rfloor = 2$ [bit]の情報を埋込んでいる。

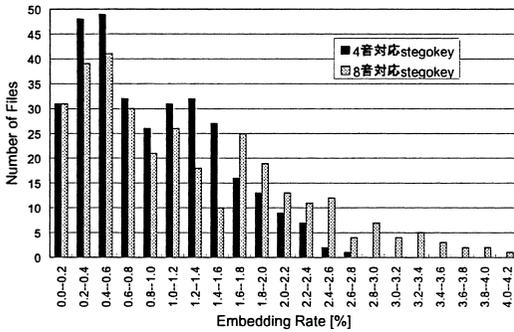


図3 埋込率の分布

Fig. 3 Distribution map of embedding rate.

トの出現回数を k_n とする ($n = 2, 3, \dots, n_{max}$. つまりこの SMF の最大の同時ノートは n_{max} 音で構成されているとする). そして, 埋込の際に N 音対応 stegokey (ただし, $N \geq n_{max}$) を使用するとき, SMF ステガノグラフィの埋込可能情報量は次のように表せる.

$$\sum_{n=2}^{n_{max}} k_n \lceil \log_2 n! \rceil [\text{bit}] \quad (1)$$

一方, 同様の条件下で, 情報量の丸めをとまわらない, SMF への理想的な埋込を仮定すると, 埋込可能情報量は理論的に次のような値をとる.

$$\left\lceil \log_2 \left(\prod_{n=2}^{n_{max}} (n!)^{k_n} \right) \right\rceil = \left\lceil \sum_{n=2}^{n_{max}} k_n \log_2 n! \right\rceil [\text{bit}] \quad (2)$$

たとえば, 8音対応 stegokey を使用した埋込において, 埋込率が最も高かった choralo.mid の各同時ノートの出現回数はそれぞれ $k_2 = 16$, $k_3 = 3$, $k_4 = 3$, $k_5 = 6$, $k_6 = 16$, $k_7 = 10$, $k_8 = 13$, $k_9 = 3$, $k_{10} = 1$ であった. ここで, $N \geq 10$ としたときの choralo.mid の埋込可能情報量は, 式 (1) より 604 [bit] (埋込率 4.10 [%]) である. 一方, 情報の丸めをとまわらない理想的な埋込みによる埋込可能情報量は, 式 (2) より 629 [bit] (埋込率 4.28 [%]) となる. 本論文末尾の付録に式 (2) から得られる理想的な埋込可能情報量と埋込率を, Free MIDI Data Library の SMF324 個について算出した結果を掲載する. 計算の結果, 理想的な埋込による埋込率の平均は 1.39 [%] であった.

5. クオンタイズと埋込可能情報量

本章では, SMF ステガノグラフィによって通信を行うエンティティが, より多くの情報を埋込めるような

SMF を作成するという想定の下で, そのような SMF の作成に有効なクオンタイズとその効果について言及する. 前章の議論で, 埋込可能情報量は SMF 内の同時ノートの出現頻度に大きく影響を受けることを明らかにした. そこで, 同時ノートを増加させる効果を持つクオンタイズを SMF の作成過程で施すことによって, 埋込率の高い SMF が作成できると予想される.

5.1 クオンタイズの概要

MIDI の分野においてクオンタイズとは, ノート情報のタイミングを制御するための MIDI シーケンサの機能であり, 主にノート・オンのタイミングを, 指定したグリッド上に整列するために使用される. 現存する多くの MIDI シーケンサがこの機能を備えており, 高機能なものには, 整列とは逆に, 和音構成音の発音のタイミングを微小変化させる機能や, オーディオ・データから抽出した音のタイミング情報を, MIDI データに反映させる機能などを, クオンタイズの一機能として持つものもある. 本論文では, 同時ノートの出現頻度を向上させるために 3 種類のクオンタイズ, $1/64$, $1/32$, $1/16$ クオンタイズを用いる. ここで, $1/q$ クオンタイズとは, 1 小節を q 等分したグリッド上に, ノート・オンを整列する機能である. つまり, $1/16$ クオンタイズは, 発音のタイミングを厳密に 16 分音符の位置に合わせる機能であり, $1/64$ クオンタイズと比較すると, 演奏音の変化は大きい.

5.2 クオンタイズの埋込率への影響

クオンタイズが埋込率に与える影響をみるために, 前章で用いたフリー MIDI データライブラリーの SMF324 個それぞれに上記 3 種のクオンタイズを適用し, それら各々について 8音対応 stegokey を使用した場合の埋込率を算出する. なお, クオンタイズを施した結果, 同時ノート中にまったく同じノート情報が重複して存在する状態が起こりうる. この場合, 重複したノート情報のうちの 1 つを除いて順位外のノートとして扱い, 埋込可能情報量を計測することとする. 末尾の付録に $1/64$, $1/32$, $1/16$ クオンタイズを適用した SMF の埋込率を記載する.

図 4, 5, 6 はそれぞれ, $1/64$, $1/32$, $1/16$ クオンタイズの適用による, フリー MIDI データライブラリーの SMF324 個の埋込可能情報量の増加率を, クオンタイズを施す以前の SMF に 8音対応 stegokey を使用した際の埋込率 (4章で導出) を横軸にとりプロットしたものである. クオンタイズ適用以前に埋込率が

ノート・オフは対応するノート・オンとの時間間隔を保存するよう
に移動するため必ずしも指定のグリッド上には配置されない.

低かった SMF は、クオンタイズの効果が顕著に現れるものが多く、10 倍前後の増加率を示すものも存在した。ただし、埋込率が最下位の bagpipe.mid は、どのクオンタイズによっても新たな同時ノートが構成されず、埋込可能情報量は増加しなかった。一方、元来埋込率が高かった SMF には、クオンタイズの効果はそれほど現れず、これらの SMF がステップ入力もしくはクオンタイズ（あるいはその両方）を用いて作成されたものであると推測される。また、1/64、1/32、1/16

クオンタイズを適用した SMF324 個の埋込率（8 音対応 stego key 使用時）の平均は、それぞれ、1.81 [%]、1.95 [%]、2.04 [%] であった。これより、1/64 クオンタイズ程度のタイミングの整列でも、埋込率の向上に有効であることが分かった。

6. 安全性に関する考察

本章では、SMF ステガノグラフィの安全性について議論する。以降では、第三者にとって SMF ステガノグラフィの方式は既知であるが、stegokey および cover SMF は未知であるとの想定の下で議論を進める。

6.1 Stego SMF の自然さについて

第三者による stego SMF の検出の困難さは、stego SMF の自然さに依存する。SMF の自然さには、第三者が SMF の演奏音を聞いた際の自然さと、SMF のデータの記述状態を観察した際の自然さという 2 つの側面がある。

6.1.1 演奏音の自然さ

SMF ステガノグラフィでは、情報の埋込の前後で演奏音はまったく変化しないため、cover SMF が埋込の結果不自然な演奏音の stego SMF に変化することはない。ゆえに SMF の演奏音の不自然さが原因となって stego SMF が第三者に検出されることはない。

6.1.2 データの記述状態の自然さ

Stego SMF のデータは（元の cover SMF が MIDI 規格に違反していなければ）MIDI 規格としての整合性を完全に満たすため、データの記述状態が不正な SMF を探すというシナリオでは stego SMF は検出されない。しかし、SMF を編集するシーケンス・ソフトが残す特徴的なデータの記述状態が、stego SMF と一般の（SMF ステガノグラフィによる埋込を受けていない）SMF とを区別する手掛かりを与える可能性がある。現存するシーケンス・ソフトの中には、SMF のコードを生成する際に、ノート情報を特定の規則で整列させるものが存在する。一方、stego SMF のノート情報の記述順序には、特定の規則が存在しないかのように第三者には見える。このため、ノート情報の記述の規則性を観察することで、第三者は stego SMF を検出できる可能性がある。ただし、シーケンス・ソフトの種類や編集方法によっては、ノート情報の順序が規則的でない SMF のコードが生成されることもあるため、ノート情報の順序が不規則である SMF を、stego SMF であると単純に断定することはできない。

6.2 Stegokey のバリエーション

第三者が何らかの方法で stego SMF の検出に成功

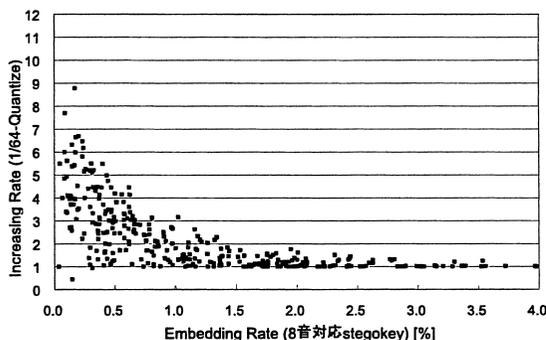


図 4 埋込可能情報量の増加率（1/64 クオンタイズ）
Fig. 4 Increasing rate by 1/64-quantize.

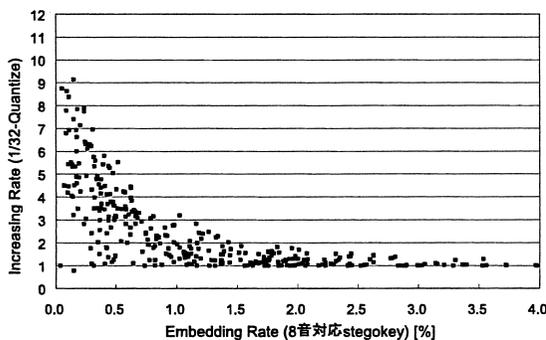


図 5 埋込可能情報量の増加率（1/32 クオンタイズ）
Fig. 5 Increasing rate by 1/32-quantize.

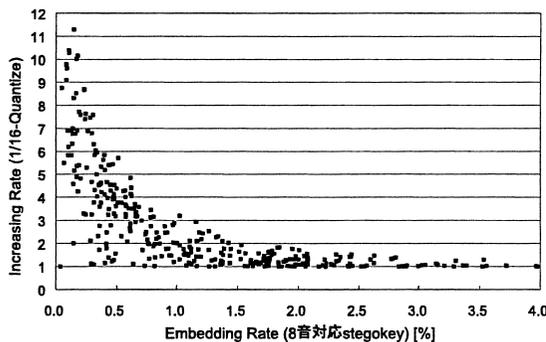


図 6 埋込可能情報量の増加率（1/16 クオンタイズ）
Fig. 6 Increasing rate by 1/16-quantize.

し, embedded data の抽出を試みようとした場合, stegokey の鍵空間が十分大きければ, 全数探索的に抽出を行うことが困難となる. SMF ステガノグラフィにおける stegokey とは, 同時ノートが示す順列とビット列との対応表であった. いま, n 音同時ノートにおいて, 順列とビット列の対応のさせ方の総数 T_n は次式で表される.

$$T_n = \left(\frac{(n!)!}{2^{(n! - 2^{\lfloor \log_2 n! \rfloor})}} \right) \cdot \left(\frac{(2^{\lfloor \log_2 n! \rfloor})!}{(n! - 2^{\lfloor \log_2 n! \rfloor})! \cdot (2 \cdot 2^{\lfloor \log_2 n! \rfloor} - n!)!} \right).$$

ここで, $n = 2, 3, 4, 5$ のとき,

$$T_2 = 2, T_3 = 1080, T_4 \cong 2^{84.7}, T_5 \cong 2^{636.5}.$$

よって, 4 音以上に対応した stegokey であれば, 全数探索的な抽出が困難となる程度のバリエーションを有すると考えられる.

6.3 Stegokey の守秘性

SMF ステガノグラフィでは embedded data の形式については特に規定していないが, embedded data に統計的な偏りがある場合, それを利用した頻度分析などの暗号解析手法を stego SMF に適用することにより, stegokey を部分的に推定される可能性がある. これを防ぐには, embedded data を埋込処理の前にデータ圧縮, 暗号化などの方法によりランダム化する方法が有効である. また, 1 つの stegokey が適用される embedded data の量を限定することにより, 仮に stegokey が推定されてもその被害を最小限にとどめることができる. ただし, この種の問題については, 暗号技術における階層的暗号化の議論ほど明確にされていない面も多いので, さらに検討をすることが必要である.

7. ま と め

楽曲の演奏データファイルである SMF を媒体としたステガノグラフィ手法を提案し, その能力を測るために, インターネットで公開されている多数の SMF の埋込み可能情報量を計測し, それらが平均約 1 [%] の埋込率を有することを明らかにした. また, クオンタイズが埋込可能情報量に与える影響を検証した. SMF ステガノグラフィの基本アイデアである, 互いに交換可能なオブジェクトの順列に情報を埋込むという手法は, SMF に限らず, そのような冗長性を含む多くの媒体に適用可能である. ステガノグラフィ手法の安全性の評価については, さらに議論を深めていく必要がある. SMF ステガノグラフィに関しては, シーク

ンス・ソフトの痕跡を手掛かりに, 埋込まれた情報の存在が検出される可能性についての検討が今後の課題である.

謝辞 本研究の一部は, 文部科学省平成 13 年度科学研究費補助金・特定領域研究 13224040 (松本勉) の支援を受けて行われた.

参 考 文 献

- 1) 松本 勉, 井上大介, 北林創太: 演奏データファイル SMF への情報ハイディング方式, 2000 年暗号と情報セキュリティシンポジウム講演論文集, SCIS2000-C03 (2000).
- 2) Inoue, D. and Matsumoto, T.: Standard MIDI Files steganography, *Proc. 1st IEEE Pacific-Rim Conference on Multimedia*, pp.328-331 (2000).
- 3) 井上大介, 松本 勉: SMF ステガノグラフィにおける埋込可能情報量, 信学技報, ISEC2001-51, pp.239-246 (2001).
- 4) Inoue, D. and Matsumoto, T.: A Scheme of Standard MIDI Files Steganography and Its Evaluation, *Proc. SPIE*, Vol.4675, Security and Watermarking of Multimedia Contents IV, pp.194-205 (2002).
- 5) 岩切宗利, 関根健一郎, 山本紘太郎, 松井甲子雄: 楽音符号への電子透かしに関する一提案, 2001 年暗号と情報セキュリティシンポジウム講演論文集, SCIS2001-15C-3 (2001).
- 6) 音楽電子事業協会: MIDI 1.0 規格書, リットーミュージック (1998).
- 7) The MIDI Manufacturers Association: *The Complete MIDI 1.0 Detailed Specification*, document version 96.1 (1996).
- 8) 音楽電子事業協会 (AMEI).
<http://www.amei.or.jp/>
- 9) MIDI Manufacturers Association (MMA).
<http://www.midi.org/>
- 10) 新井 純: SMF リファレンス・ブック, リットーミュージック (1996).
- 11) Pfitzmann, B.: Information Hiding Terminology, *Proc. 1st International Information Hiding Workshop*, LNCS 1174, pp.347-350, Springer (1996).
- 12) ヤマハ株式会社: Free MIDI Data Library:
<http://www.yamaha.co.jp/xg/download/freemidi/>

(平成 13 年 12 月 3 日受付)

(平成 14 年 6 月 4 日採録)

付 録

A.1 インターネットで公開されている SMF の埋込率 (1/4)

File Name	Category	Time	NoC	File Size [byte]	M(4) [bit]	ER(4) [%]	M(8) [bit]	ER(8) [%]	M(16) [bit]	ER(16) [%]	ER(8)_1/64 [%]	ER(8)_1/32 [%]	ER(8)_1/16 [%]
bagpipe	world	0:40	3	11,447	33	0.04	33	0.04	40	0.04	0.04	0.04	0.04
jazzmed3	jazz	0:09	3	1,059	4	0.05	4	0.05	4	0.05	0.26	0.41	0.41
ambient	holiday	0:03	2	380	2	0.07	2	0.07	2	0.07	0.26	0.30	0.36
md35xg	medium	1:44	4	9,850	66	0.08	66	0.08	67	0.09	0.41	0.57	0.76
jazzbr1	jazz	0:05	3	1,330	9	0.08	9	0.08	9	0.08	0.51	0.66	0.83
m3c36xg	special	0:43	7	4,633	33	0.09	33	0.09	33	0.09	0.69	0.77	0.86
jazzbr2	jazz	0:06	3	1,308	10	0.10	10	0.10	10	0.10	0.32	0.40	0.66
cl34xg	classic	2:31	1	10,864	87	0.10	87	0.10	88	0.10	0.49	0.54	0.58
int41xg	world	0:35	4	3,880	7	0.14	7	0.14	7	0.14	0.34	0.46	0.64
jazzmed2	jazz	0:11	3	1,545	13	0.11	13	0.11	13	0.11	0.59	0.88	1.09
cl38xg	classic	0:53	6	5,028	44	0.11	44	0.11	46	0.11	0.45	0.76	1.12
bigband	jazz	2:48	14	101,065	1,010	0.12	1,010	0.12	1,075	0.13	0.49	0.69	0.86
sad	classic	0:32	1	3,445	35	0.13	35	0.13	35	0.13	0.34	0.52	0.74
rk35xg	rock	2:15	5	37,311	404	0.14	404	0.14	430	0.14	0.55	0.74	0.86
hol32xg	holiday	0:20	6	1,923	21	0.14	21	0.14	21	0.14	0.51	0.73	0.92
jazzlow1	jazz	0:14	1	637	7	0.14	7	0.14	7	0.14	0.37	0.55	0.96
manymore	jazz	0:08	4	1,228	14	0.14	14	0.14	15	0.15	0.37	0.46	0.65
jazzlow3	jazz	0:14	1	771	9	0.15	9	0.15	9	0.15	0.06	0.11	0.29
sv2	rock	2:19	6	42,222	494	0.15	494	0.15	514	0.15	0.79	1.08	1.22
m3c34xg	special	0:38	12	7,941	93	0.15	93	0.15	97	0.15	0.93	1.34	1.65
jalapeno	funky	2:01	16	36,628	433	0.15	441	0.15	471	0.16	0.60	0.68	0.78
twinkjoy	xmas	0:21	6	1,640	21	0.16	21	0.16	21	0.16	0.59	0.85	1.08
zambeze	special	2:27	13	41,654	557	0.17	557	0.17	589	0.18	0.91	1.16	1.42
mrnntro	jazz	0:07	5	1,341	18	0.17	18	0.17	19	0.18	0.66	0.82	0.82
cl32xg	classic	1:56	12	17,922	243	0.17	243	0.17	256	0.18	1.49	1.02	1.70
satie	lite	0:42	1	1,458	20	0.17	20	0.17	20	0.17	0.68	0.79	0.92
hol30xg	holiday	1:07	6	7,502	104	0.17	104	0.17	112	0.19	1.04	1.15	1.19
cl47xg	classic	0:35	6	5,757	82	0.18	82	0.18	86	0.19	1.18	1.40	1.81
farolillo	world	2:08	7	10,737	155	0.18	155	0.18	160	0.19	0.55	0.63	0.77
int38xg	world	0:55	5	6,852	104	0.19	104	0.19	109	0.20	0.86	1.04	1.46
serenade	medium	1:32	16	13,044	199	0.19	199	0.19	210	0.20	0.66	0.92	1.03
mozart	classic	0:34	1	2,045	33	0.20	33	0.20	35	0.21	0.72	0.86	0.97
md36xg	medium	1:19	6	9,219	149	0.20	149	0.20	160	0.22	1.35	1.44	1.53
md31xg	medium	1:30	9	3,366	62	0.23	62	0.23	66	0.25	0.51	0.65	0.76
tec31xg	techno	1:55	4	20,739	386	0.23	386	0.23	401	0.24	1.50	1.80	2.02
festive	classic	7:55	16	112,635	2,099	0.23	2,103	0.23	2,269	0.25	1.35	1.85	2.03
cl35xg	classic	0:55	6	9,067	174	0.24	174	0.24	185	0.26	1.48	1.54	1.78
jz35xg	jazz	5:04	8	53,923	1,054	0.24	1,056	0.24	1,103	0.26	1.26	1.55	1.87
ry_smile	special	3:30	16	25,988	503	0.24	511	0.25	589	0.28	0.60	0.75	0.80
rk37xg	rock	2:44	8	65,468	1,268	0.24	1,321	0.25	1,429	0.27	1.01	1.24	1.33
cl30xg	classic	1:19	15	9,470	197	0.26	197	0.26	204	0.27	1.37	1.59	1.79
bluenote	jazz	2:04	7	15,508	339	0.27	349	0.28	356	0.29	1.24	1.78	2.10
cl42xg	classic	2:31	4	22,029	483	0.26	504	0.29	540	0.31	0.39	0.51	0.60
m3c33xg	special	0:56	9	211,798	3,737	0.22	4,967	0.29	5,838	0.34	0.32	0.32	0.33
md30xg	medium	1:31	6	23,237	538	0.29	547	0.29	596	0.32	1.53	1.83	2.00
mr_end	jazz	0:12	5	1,824	43	0.29	43	0.29	45	0.31	0.54	0.71	0.96
rk33xg	rock	1:25	5	19,286	449	0.29	455	0.29	483	0.31	1.06	1.27	1.38
int32xg	world	1:03	8	12,159	240	0.25	297	0.31	325	0.33	1.68	2.12	2.31
wn32xg	medium	1:10	7	10,096	246	0.30	252	0.31	269	0.33	1.60	1.80	1.97
darkness	special	3:37	11	18,071	330	0.23	452	0.31	505	0.35	0.29	0.31	0.34
jazzmed1	jazz	0:11	3	1,672	42	0.31	42	0.31	43	0.32	0.92	1.10	1.18
itsarap	funky	3:49	13	73,877	1,864	0.32	1,880	0.32	2,045	0.35	1.06	1.28	1.37
lost	techno	3:23	12	37,794	935	0.31	963	0.32	1,017	0.34	1.42	1.70	1.86
cl36xg	lite	1:23	9	18,458	473	0.32	481	0.33	513	0.35	1.69	1.82	1.97
m3c30xg	special	1:47	6	25,158	642	0.32	673	0.33	730	0.36	1.45	1.60	1.67
jazzlow2	jazz	0:22	1	1,800	49	0.34	49	0.34	53	0.37	1.47	1.67	2.02
bopcombo	jazz	3:02	7	78,281	2,114	0.34	2,135	0.34	2,338	0.37	0.98	1.20	1.37
xgisgod	slow	2:37	6	39,461	800	0.25	1,098	0.35	1,204	0.38	0.59	0.70	0.80
cl37xga	lite	0:12	9	2,932	73	0.31	83	0.35	91	0.39	1.59	1.62	1.60
cl44xg	classic	0:46	11	9,540	270	0.35	274	0.36	289	0.38	0.92	1.22	1.64
md39xg	medium	0:53	7	10,445	279	0.33	300	0.36	308	0.37	0.47	0.54	0.62
tdorms	special	4:07	16	78,462	2,219	0.35	2,269	0.36	2,511	0.40	0.80	0.92	0.99
mahlesqu	classic	2:08	11	12,018	346	0.36	348	0.36	422	0.44	0.89	1.08	1.30
ws132xg	western	1:23	6	18,655	537	0.36	551	0.37	616	0.41	1.47	1.63	1.69
possible	special	3:38	16	45,791	1,299	0.35	1,359	0.37	1,473	0.40	1.06	1.30	1.40
bigdeal	funky	3:11	15	34,062	1,002	0.37	1,012	0.37	1,056	0.39	1.17	1.54	1.72
cl33xg	classic	1:28	10	14,452	403	0.35	430	0.37	481	0.42	1.54	1.77	1.98
m3c41xg	special	1:08	5	9,832	262	0.36	295	0.38	318	0.40	1.15	1.39	1.58
club	funky	2:56	8	34,589	1,065	0.38	1,079	0.39	1,139	0.41	1.74	2.12	2.19
cl35xg	lite	1:17	7	23,897	757	0.40	763	0.40	832	0.44	2.19	2.31	2.33
fan31xg	fanfare	0:23	10	6,954	223	0.40	223	0.40	241	0.43	0.99	1.39	1.66
int35xg	world	1:01	7	14,598	436	0.37	472	0.40	524	0.45	1.50	1.81	2.10
md1a	world	0:24	3	4,288	135	0.39	139	0.41	160	0.47	0.43	0.44	0.46
md37xg	medium	1:43	3	4,723	131	0.35	157	0.42	169	0.45	0.67	0.75	0.83
notaswe	medium	3:21	12	69,820	2,185	0.39	2,345	0.42	2,634	0.47	0.85	1.01	1.04
cybergate	filter	3:18	16	115,952	2,947	0.32	3,698	0.42	4,202	0.45	0.70	0.74	0.75
cl36xg	classic	1:21	9	18,549	616	0.42	624	0.42	678	0.46	1.39	1.73	1.96
cool	techno	2:37	8	64,439	1,940	0.38	2,195	0.43	2,392	0.46	1.46	1.57	1.69
rachman	classic	0:33	1	2,465	86	0.43	86	0.43	89	0.45	1.08	1.29	1.40
pop35xg	pop	2:22	9	41,476	1,438	0.43	1,440	0.43	1,556	0.47	2.16	2.33	2.34
m3c35xg	special	0:37	9	2,128	62	0.36	74	0.43	81	0.48	0.59	0.60	0.61

File Name:
ファイル名
(括弧子".mid"は省略),

Category:
Free MIDI Data Library
におけるカテゴリ,

Time:
演奏時間(分:秒),

NoC:
使用チャンネル数,

File Size:
Cover SMFのファイルサイズ,

M(n):
n音対応stegokeyを使用した
際の埋込可能情報量,

ER(n):
n音対応stegokeyを使用した
際の埋込率,

M(IV):
理想的な埋込を仮定した際の
埋込可能情報量,

ER(IV):
理想的な埋込を仮定した際の
埋込率,

ER(8)_1/q:
1/qクオントाइズを施した際の
埋込率(8音対応stegokey使用).

A.2 インターネットで開催されている SMF の埋込率 (2/4)

File Name	Category	Time	NoC	File Size [byte]	M(4) [bit]	ER(4) [%]	M(8) [bit]	ER(8) [%]	M(IV) [bit]	ER(IV) [%]	ER(8)_1/64 [%]	ER(8)_1/32 [%]	ER(8)_1/16 [%]
jazdrops	funky	3:36	16	42,454	1,467	0.43	1,485	0.44	1,629	0.48	1.10	1.37	1.52
sp35xg	special	1:07	7	24,478	866	0.44	868	0.44	931	0.48	2.10	2.34	2.40
wst35xg	western	2:08	7	23,469	799	0.43	839	0.45	917	0.49	1.56	1.85	2.03
int30xg	world	1:04	6	16,492	574	0.44	596	0.45	639	0.48	1.36	1.72	1.94
midnight	medium	3:59	15	89,273	3,205	0.45	3,245	0.45	3,573	0.50	0.90	1.21	1.28
cl43xg	classic	0:39	3	1,619	60	0.46	60	0.46	60	0.46	0.52	0.54	0.56
rock32xg	rock	1:09	5	20,900	774	0.46	786	0.47	855	0.51	2.09	2.38	2.56
jazzbrt3	jazz	0:07	3	1,993	75	0.47	75	0.47	83	0.52	1.59	1.75	1.84
mssc31xg	special	1:06	7	17,838	549	0.38	672	0.47	721	0.51	1.64	1.79	1.89
fan32xg	fanfare	2:50	4	17,535	664	0.47	664	0.47	732	0.52	1.42	1.73	1.97
gagaku	world	0:52	7	4,755	149	0.39	182	0.48	206	0.54	0.59	0.61	0.61
strauss	classic	0:34	1	2,912	110	0.47	112	0.48	122	0.52	1.29	1.48	1.58
xmas_06	xmas	0:11	6	1,788	61	0.43	69	0.48	76	0.53	0.77	1.45	2.19
chillout	funky	3:26	16	46,598	1,771	0.48	1,801	0.48	1,978	0.53	1.41	1.75	1.91
rocking	rock	3:00	6	45,337	1,715	0.47	1,784	0.49	2,075	0.57	1.57	1.57	1.57
stdeIuci	special	2:04	7	22,715	806	0.44	894	0.49	1,042	0.57	0.63	0.71	0.76
cl45xg	classic	0:38	7	5,635	224	0.50	224	0.50	237	0.53	1.22	1.56	1.79
rock36xg	rock	0:30	5	11,928	432	0.45	477	0.50	519	0.54	2.09	2.17	2.19
dangermn	medium	3:41	12	51,299	2,059	0.50	2,083	0.51	2,250	0.55	1.51	1.78	1.91
jammy	funky	3:11	9	57,203	2,263	0.49	2,347	0.51	2,501	0.55	1.95	2.83	2.93
md40xg	medium	2:19	6	9,603	415	0.54	415	0.54	469	0.61	0.93	1.12	1.28
int34xg	world	0:56	2	12,101	506	0.52	524	0.54	575	0.59	1.33	1.88	2.04
pop31xg	pop	1:55	7	21,618	928	0.54	963	0.56	1,084	0.63	2.31	2.36	2.36
wst31xg	western	1:39	6	22,885	1,005	0.55	1,046	0.57	1,135	0.62	2.18	2.40	2.46
cl37xg	classic	0:59	5	14,463	639	0.55	664	0.57	733	0.63	1.90	2.06	2.11
licks	filter	3:15	14	51,756	2,291	0.55	2,383	0.58	2,611	0.63	1.75	2.01	2.30
sp36xg	special	2:04	15	29,177	1,326	0.57	1,347	0.58	1,455	0.62	1.61	1.81	1.88
nw31xg	medium	1:04	8	7,037	313	0.56	325	0.58	341	0.61	1.30	1.64	1.82
sp31xg	special	0:57	8	18,777	778	0.52	873	0.58	981	0.65	1.91	2.02	2.10
jazz3xg	jazz	2:22	5	16,014	751	0.59	755	0.59	837	0.65	1.02	1.18	1.22
jazz37xg	jazz	3:08	13	61,995	2,570	0.52	2,954	0.60	3,384	0.69	1.87	1.95	2.12
mssc39xg	special	0:36	5	4,250	204	0.60	208	0.61	221	0.65	1.62	1.64	1.64
stanley	funky	2:22	9	21,934	934	0.53	1,080	0.62	1,200	0.68	1.29	1.45	1.55
jzz30xg	jazz	2:28	9	25,919	1,121	0.54	1,280	0.62	1,387	0.67	1.22	1.65	1.77
relax	funky	3:04	11	67,115	3,248	0.60	3,317	0.62	3,598	0.67	2.75	2.75	2.99
cl39xg	classic	1:33	10	38,489	1,803	0.59	1,903	0.62	2,071	0.67	2.23	2.45	2.56
cl40xg	classic	0:39	10	21,205	1,011	0.60	1,055	0.62	1,155	0.68	2.57	2.73	2.75
sp32xg	special	1:23	11	29,003	1,384	0.60	1,450	0.62	1,615	0.70	2.12	2.40	2.53
tec34xg	techno	2:19	13	41,336	1,951	0.59	2,079	0.63	2,289	0.69	1.91	2.11	2.21
stlstarng	special	2:02	10	29,863	1,196	0.50	1,530	0.64	1,894	0.79	0.71	0.71	0.71
lt34xg	lite	1:25	6	23,147	1,053	0.57	1,195	0.65	1,319	0.71	2.08	2.21	2.27
int36xg	world	1:09	9	17,156	889	0.65	899	0.66	942	0.69	1.66	2.22	2.42
wst30xg	western	1:07	5	19,935	916	0.57	1,049	0.66	1,169	0.73	1.87	2.10	2.18
hooch	world	1:46	8	31,518	1,610	0.64	1,660	0.66	1,936	0.77	1.65	1.86	1.92
fields	lite	3:13	10	44,924	1,976	0.55	2,368	0.66	2,623	0.73	1.73	2.09	2.10
sp34xg	special	0:47	10	15,939	807	0.63	847	0.66	936	0.73	2.02	2.15	2.23
reality	medium	2:48	11	28,753	1,507	0.66	1,547	0.67	1,704	0.74	1.65	2.07	2.13
sp30xg	special	0:56	6	14,856	703	0.59	815	0.69	899	0.76	1.95	2.27	2.45
jzz32xg	jazz	1:35	4	19,276	984	0.64	1,092	0.71	1,205	0.78	2.00	2.08	2.11
i_spy	special	2:01	13	14,839	617	0.52	851	0.72	991	0.83	0.95	1.16	1.23
xmas_01	xmas	0:36	5	1,634	56	0.43	96	0.73	105	0.80	0.73	0.73	0.75
lt31xg	lite	2:08	4	21,774	1,235	0.71	1,292	0.74	1,471	0.84	1.77	1.77	1.77
jzz36xg	jazz	4:05	9	73,095	3,730	0.64	4,356	0.75	4,885	0.84	1.77	1.82	1.85
rondo	lite	2:42	10	35,361	1,791	0.63	2,143	0.76	2,478	0.88	1.61	1.62	1.64
1towow	medium	3:32	16	62,814	3,251	0.65	3,827	0.76	4,401	0.88	1.30	1.47	1.53
galactic	special	3:24	16	60,337	2,613	0.54	3,710	0.77	4,118	0.85	1.32	1.48	1.51
md32xg	medium	0:54	6	7,550	362	0.60	467	0.77	495	0.82	0.89	0.97	1.03
rock31xg	rock	0:58	5	15,581	911	0.73	976	0.78	1,097	0.88	2.23	2.40	2.45
int31xg	world	2:04	8	41,879	2,477	0.74	2,630	0.78	2,916	0.87	2.05	2.42	2.71
nw35xg	medium	3:10	8	42,123	2,597	0.77	2,647	0.79	2,793	0.83	1.89	2.06	2.15
hol31xg	xmas	0:18	5	5,960	362	0.76	384	0.81	429	0.90	2.52	2.54	2.54
whalers	world	2:10	9	29,250	1,411	0.60	1,887	0.81	2,088	0.89	1.33	1.43	1.51
3ships	medium	0:21	4	2,902	182	0.78	190	0.82	215	0.93	0.83	0.82	0.83
gregmant	special	3:46	16	37,147	2,316	0.78	2,436	0.82	2,731	0.92	1.22	1.52	1.62
regrets	slow	3:00	6	12,880	550	0.53	845	0.82	1,007	0.98	0.89	1.02	1.13
md34xg	medium	1:38	7	11,647	763	0.82	773	0.83	862	0.93	1.56	1.80	1.82
int40xg	world	1:23	6	20,558	1,121	0.68	1,368	0.83	1,525	0.93	1.77	1.92	2.06
pop32xg	pop	0:58	8	10,929	659	0.75	743	0.85	829	0.95	1.78	1.91	1.93
benson	medium	3:35	15	130,535	6,967	0.67	8,983	0.86	10,224	0.98	1.63	1.69	1.71
venos	world	2:46	11	20,761	1,164	0.70	1,454	0.88	1,810	1.09	0.88	0.91	1.26
ind34xg	industrial	1:05	15	18,908	1,263	0.83	1,363	0.90	1,526	1.01	2.27	2.40	2.47
wst34xg	western	0:31	8	9,503	555	0.73	688	0.90	781	1.03	2.09	2.11	2.22
geronimo	special	2:27	15	32,347	2,021	0.78	2,359	0.91	2,675	1.03	1.25	1.39	1.61
ocean	world	1:22	6	18,594	1,121	0.75	1,368	0.92	1,525	1.03	1.96	2.12	2.28
epic_2&	jazz	0:59	15	10,847	571	0.66	806	0.93	947	1.09	1.59	1.63	1.65
love_you	lite	3:08	9	37,687	1,912	0.63	2,827	0.94	3,245	1.08	1.22	1.37	1.39
md33xg	medium	1:20	9	13,326	903	0.85	1,016	0.95	1,138	1.07	1.15	1.33	1.40
nw30xg	medium	1:20	9	18,620	1,208	0.81	1,439	0.97	1,564	1.05	2.62	2.66	2.70
triumph	special	3:21	12	47,926	3,026	0.79	3,732	0.97	4,202	1.10	1.96	1.97	1.98
xmas_07	xmas	0:30	4	4,011	265	0.83	313	0.98	361	1.13	1.05	1.14	1.16
ind32xg	industrial	0:58	9	15,075	1,042	0.86	1,179	0.98	1,323	1.10	2.59	2.72	2.81

File Name:
ファイル名
(拡張子".mid"は省略),

Category:
Free MIDI Data Library
におけるカテゴリ,

Time:
演奏時間(分:秒),

NoC:
使用チャンネル数,

File Size:
Cover SMFのファイルサイズ,

M(n):
n音対応stegokeyを使用した
際の埋込可能情報量,

ER(n):
n音対応stegokeyを使用した
際の埋込率,

M(IV):
理想的な埋込を仮定した際の
埋込可能情報量,

ER(IV):
理想的な埋込を仮定した際の
埋込率,

ER(8)_1/q:
1/qクオンタイズを施した際の
埋込率(8音対応stegokey使用).

A.3 インターネットで公開されている SMF の埋込率 (3/4)

File Name	Category	Time	NoC	File Size [byte]	M(4) [bit]	ER(4) [%]	M(8) [bit]	ER(8) [%]	M(IV) [bit]	ER(IV) [%]	ER(8)_1/64 [%]	ER(8)_1/32 [%]	ER(8)_1/16 [%]
int37xg	world	0:53	6	6,410	507	0.99	513	1.00	574	1.12	1.80	1.94	2.02
jazz1xg	jazz	1:16	9	17,878	1,003	0.70	1,461	1.02	1,621	1.13	1.34	1.83	1.96
metropol	lite	3:01	10	49,474	3,273	0.83	4,047	1.02	4,752	1.20	1.33	1.33	1.33
metropol	special	3:01	10	49,474	3,273	0.83	4,047	1.02	4,752	1.20	1.33	1.33	1.33
smoky	medium	3:26	10	81,187	5,632	0.87	6,645	1.02	7,523	1.16	3.24	3.27	3.27
cl46xg	classic	0:52	5	3,250	268	1.03	274	1.05	285	1.10	1.43	1.70	1.85
evening	lite	3:00	10	43,487	2,666	0.77	3,682	1.06	4,295	1.23	1.59	1.61	1.62
sanctury	special	4:18	16	52,357	3,472	0.83	4,462	1.07	5,405	1.29	1.30	1.43	1.60
sp37xg	special	1:48	6	18,325	1,387	0.95	1,565	1.07	1,791	1.22	1.65	1.68	1.68
thmprk04	holiday	0:37	8	9,305	653	0.88	803	1.08	920	1.24	1.08	1.12	1.12
pop30xg	pop	1:44	5	7,933	657	1.04	685	1.08	755	1.19	1.51	1.65	1.67
nw34xg	medium	0:37	6	6,914	490	0.89	606	1.10	692	1.25	1.46	1.52	1.60
soxsg	special	1:46	8	7,885	523	0.83	693	1.10	862	1.37	1.14	1.19	1.27
nw33xg	medium	1:48	8	21,704	1,707	0.98	1,916	1.10	2,219	1.28	2.03	2.05	2.05
mcs32xg	special	1:33	16	22,221	1,831	1.03	1,967	1.11	2,363	1.33	2.27	2.31	2.33
rebel2	rock	1:04	8	16,225	1,192	0.92	1,449	1.12	1,623	1.25	1.71	1.95	1.99
md38xg	medium	1:12	6	7,729	691	1.12	691	1.12	701	1.13	1.48	1.71	1.79
istanbul	special	2:09	13	50,734	3,081	0.76	4,550	1.12	5,081	1.25	1.17	1.20	1.24
pop34xg	pop	3:15	3	18,964	1,410	0.93	1,735	1.14	1,975	1.30	1.29	1.37	1.41
int33xg	world	0:57	7	18,881	1,572	1.04	1,750	1.16	1,989	1.32	3.03	3.28	3.40
epic_1&	jazz	0:53	15	18,665	1,223	0.82	1,732	1.16	2,045	1.37	1.58	1.63	1.65
cl31xg	classic	1:03	5	5,249	439	1.05	489	1.16	568	1.35	1.16	1.17	1.17
okinawa	world	0:21	6	2,583	219	1.06	241	1.17	270	1.31	2.08	2.32	2.44
grvz	rock	2:02	11	66,203	4,341	0.82	6,240	1.18	7,064	1.33	2.03	2.04	2.05
sleaze	lite	1:15	10	29,607	2,208	0.93	2,804	1.18	3,144	1.33	2.76	2.87	2.93
slunky	rock	3:32	11	52,932	3,277	0.77	5,067	1.20	5,760	1.36	1.46	1.58	1.70
jazz33xg	jazz	4:23	5	69,874	5,905	1.06	6,714	1.20	7,564	1.35	2.62	2.62	2.62
midwest	lite	2:59	8	31,105	2,457	0.99	3,019	1.21	3,305	1.33	2.52	2.89	2.95
kids	techno	4:15	16	70,418	6,143	1.09	7,114	1.26	7,734	1.37	1.96	2.09	2.17
func_u	funky	1:47	9	53,147	4,639	1.09	5,370	1.26	6,157	1.45	2.57	3.12	3.19
science	special	3:22	7	41,403	3,281	0.99	4,194	1.27	4,634	1.40	1.27	1.27	1.27
disdelq	techno	4:22	10	126,531	10,674	1.05	13,020	1.29	14,752	1.46	1.55	1.61	1.62
xmas_04	xmas	0:31	4	951	90	1.18	100	1.31	108	1.42	1.31	1.31	1.31
tec30xg	techno	2:39	4	39,861	3,807	1.19	4,193	1.31	4,823	1.51	1.52	1.61	1.72
ind33xg	industrial	1:05	11	24,233	2,395	1.24	2,564	1.32	2,745	1.42	2.87	2.96	2.98
danz	techno	3:03	8	65,584	6,480	1.24	7,026	1.34	8,128	1.55	3.06	3.07	3.07
epic_6&	jazz	0:39	15	6,492	614	1.18	707	1.36	817	1.57	1.43	1.45	1.48
cl41xg	classic	4:17	11	27,724	3,002	1.35	3,028	1.36	3,115	1.40	1.87	2.04	2.17
oxycute	techno	3:49	15	139,294	10,139	0.91	15,224	1.37	17,889	1.59	1.70	1.70	1.71
mcs38xg	special	0:36	9	9,543	616	0.81	1,050	1.38	1,212	1.59	1.43	1.48	1.55
funkxg	funky	1:08	9	21,617	1,851	1.07	2,379	1.38	2,714	1.57	2.45	2.56	2.89
tec37xg	techno	2:37	16	41,322	3,011	0.91	4,553	1.38	5,030	1.52	1.51	1.57	1.63
epic	funky	3:51	15	58,623	4,804	1.02	6,476	1.38	7,450	1.59	1.99	2.04	2.07
mcs40xg	special	1:28	2	20,108	2,156	1.34	2,234	1.39	2,340	1.45	2.04	2.26	2.47
xmas_05	xmas	0:19	5	3,417	324	1.19	390	1.43	432	1.58	2.64	2.89	2.89
ind31xg	industrial	1:34	6	14,625	1,466	1.25	1,681	1.44	1,930	1.65	1.62	1.63	1.64
aor	rock	3:25	9	55,156	5,256	1.19	6,344	1.44	7,164	1.62	2.09	2.10	2.11
epic_4&	jazz	1:18	15	20,222	1,819	1.12	2,336	1.44	2,580	1.59	2.43	2.49	2.55
sp33xg	special	0:46	12	14,595	1,369	1.17	1,767	1.51	2,186	1.87	2.17	2.37	2.48
tec36xg	techno	2:08	10	35,039	3,259	1.16	4,279	1.53	5,191	1.85	1.87	1.93	2.01
whalo	special	1:41	8	42,579	4,317	1.27	5,217	1.53	5,925	1.74	2.83	2.85	2.95
always	slow	2:53	5	19,032	1,846	1.08	2,375	1.56	2,670	1.75	1.56	1.56	1.58
ontimor	medium	4:07	8	107,590	11,252	1.31	13,477	1.57	16,279	1.89	2.31	2.44	2.45
siesta	slow	2:59	10	20,998	1,840	1.10	2,660	1.58	2,960	1.76	1.58	1.59	1.60
tec32xg	techno	1:51	9	25,066	2,185	1.09	3,223	1.61	3,622	1.81	1.71	1.82	1.91
theworks	special	5:15	16	61,899	6,097	1.23	7,969	1.61	9,072	1.83	1.74	1.80	2.04
matrix01	techno	3:38	16	68,967	5,674	1.03	8,896	1.61	9,967	1.81	1.66	1.73	1.85
hunt	filter	3:08	7	44,347	5,036	1.42	5,766	1.63	6,605	1.86	1.63	1.63	1.63
jazz2xg	jazz	1:27	7	19,945	1,782	1.12	2,619	1.64	2,847	1.78	1.74	1.84	1.88
lt30xg	lite	1:35	4	9,052	1,024	1.41	1,197	1.65	1,410	1.95	1.87	1.97	1.98
ind30xg	industrial	1:59	5	25,367	2,486	1.23	3,396	1.67	3,939	1.94	1.86	1.86	1.86
lt33xg	lite	1:06	9	12,837	1,146	1.12	1,720	1.67	2,051	2.00	2.45	2.53	2.62
jazz1xg	jazz	1:38	9	21,014	2,199	1.31	2,836	1.69	3,523	2.10	1.82	1.91	1.98
jetski	techno	3:06	10	47,424	5,873	1.55	6,411	1.69	7,480	1.97	1.93	1.93	1.93
fan30xg	fanfare	0:17	9	4,144	397	1.20	568	1.71	637	1.92	1.75	2.00	2.31
lovin	funky	3:08	8	28,567	3,388	1.48	3,926	1.72	4,596	2.01	2.03	2.13	2.17
rok34xg	rock	3:11	5	56,407	4,996	1.11	7,760	1.72	8,732	1.94	2.17	2.39	2.50
kalimba	world	0:34	9	5,522	548	1.24	762	1.72	832	1.88	1.72	1.72	1.72
tubular	special	2:58	11	39,603	4,050	1.28	5,504	1.74	6,166	1.95	1.82	1.87	1.91
coolie	funky	3:04	10	63,273	7,079	1.40	8,877	1.75	10,377	2.05	2.89	2.83	2.83
snap	medium	2:04	11	31,237	3,554	1.42	4,386	1.76	4,999	2.00	1.76	1.76	1.79
showtime	jazz	0:51	4	13,340	1,290	1.21	1,875	1.76	2,078	1.95	2.04	2.24	2.37
lt32xg	lite	1:25	9	17,815	2,074	1.46	2,504	1.76	2,797	1.96	2.75	2.85	2.90
3over3	medium	2:00	9	21,591	2,057	1.19	3,036	1.76	3,385	1.96	1.76	2.15	2.15
epic_5&	jazz	0:45	15	11,248	1,001	1.11	1,584	1.76	1,783	1.98	2.16	2.17	2.23
twilight	lite	3:06	7	50,290	5,542	1.38	7,095	1.76	8,526	2.12	2.00	2.41	2.41
kingxg	special	1:29	8	15,172	1,464	1.21	2,142	1.76	2,527	2.08	2.07	2.31	2.35
pop36xg	pop	1:22	4	26,471	9,226	1.38	3,770	1.78	4,086	1.93	2.55	2.58	2.66
vision	techno	3:06	11	80,312	9,526	1.48	11,471	1.79	13,157	2.05	2.56	2.93	3.02
rok30xg	rock	1:46	4	29,464	3,858	1.64	4,251	1.80	4,926	2.09	2.73	2.78	2.79
tranz	techno	3:07	8	41,163	4,978	1.51	6,025	1.83	6,916	2.10	2.89	3.33	3.33

File Name:
ファイル名
(拡張子".mid"は省略),

Category:
Free MIDI Data Library
におけるカテゴリ,

Time:
演奏時間(分:秒),

NoC:
使用チャンネル数,

File Size:
Cover SMFのファイルサイズ,

M(n):
n音対応stegokeyを使用した
際の埋込可能情報量,

ER(n):
n音対応stegokeyを使用した
際の埋込率,

M(IV):
理想的な埋込を仮定した際の
埋込可能情報量,

ER(IV):
理想的な埋込を仮定した際の
埋込率,

ER(8)_1/q:
1/qクオンタイズを施した際の
埋込率(8音対応stegokey使用).

A.4 インターネットで公開されている SMF の埋込率 (4/4)

File Name	Category	Time	NoC	File Size [byte]	M(4) [bit]	ER(4) [%]	M(8) [bit]	ER(8) [%]	M(IV) [bit]	ER(IV) [%]	ER(8)_1/64 [%]	ER(8)_1/32 [%]	ER(8)_1/16 [%]
rockxg	rock	2:21	8	32,214	3,168	1.23	4,734	1.84	5,368	2.08	2.06	2.13	2.16
epic_3&	jazz	0:39	15	7,019	737	1.31	1,033	1.84	1,156	2.06	1.84	1.84	1.84
steely	lite	3:06	8	48,640	5,333	1.37	7,166	1.84	8,832	2.27	1.84	1.84	1.84
xmas_02	xmas	0:19	8	2,216	270	1.52	327	1.84	355	2.00	2.40	2.88	3.37
xmas_03	xmas	0:11	5	1,233	156	1.58	184	1.87	213	2.16	1.87	1.89	1.87
wst33xg	western	1:26	9	27,125	3,015	1.39	4,079	1.88	4,546	2.09	2.25	2.26	2.26
laidback	funky	3:13	8	62,661	6,507	1.30	9,510	1.90	11,239	2.24	2.14	2.40	2.43
rockchick	rock	3:10	6	40,298	4,622	1.43	6,126	1.90	6,930	2.15	2.30	2.32	2.36
tv_theme	special	3:10	10	34,522	4,132	1.50	5,281	1.91	5,887	2.13	1.97	1.97	1.97
jopling	holiday	0:58	7	8,052	838	1.30	1,245	1.93	1,404	2.18	1.93	1.94	1.94
hangin	funky	2:59	7	46,721	4,899	1.31	7,224	1.93	8,464	2.26	2.36	2.51	2.54
sweetnes	slow	2:59	10	50,377	6,215	1.54	7,866	1.95	8,921	2.21	3.43	3.43	3.43
raindanc	special	3:57	16	47,589	4,992	1.31	7,441	1.95	8,978	2.36	1.94	1.99	1.98
int33xg	world	2:09	11	28,349	3,302	1.46	4,451	1.96	4,953	2.18	2.50	2.56	2.59
nightxg	medium	1:59	6	15,466	1,834	1.48	2,440	1.97	2,840	2.30	1.97	1.97	1.97
paulo	special	4:25	15	28,897	2,970	1.28	4,569	1.98	5,123	2.22	2.00	2.02	2.17
copout	techno	3:26	14	93,495	10,226	1.37	14,799	1.98	18,251	2.44	2.75	2.84	2.85
china	world	0:21	7	3,977	487	1.53	637	2.00	713	2.24	2.62	2.62	2.62
michael	pop	3:28	14	68,792	8,177	1.49	11,049	2.01	12,900	2.34	3.23	3.39	3.42
bhangra	world	1:46	14	51,591	5,418	1.31	8,294	2.01	10,054	2.44	2.05	2.14	2.16
stupidis	techno	3:17	12	83,652	9,023	1.35	13,566	2.03	15,638	2.34	2.12	2.18	2.19
chasexg	special	2:44	11	39,687	4,707	1.48	6,480	2.04	7,449	2.35	2.21	2.28	2.33
elecxcg	rock	1:14	7	20,549	2,598	1.58	3,373	2.05	3,850	2.34	2.44	2.58	3.00
jz33xg	jazz	1:11	7	20,706	2,354	1.42	3,415	2.06	4,231	2.55	2.06	2.06	2.07
lowdown	funky	3:45	14	76,332	9,077	1.49	12,665	2.07	14,887	2.44	2.48	2.61	2.64
acou1xg	medium	1:22	8	24,142	3,158	1.64	4,007	2.07	4,458	2.31	2.79	3.19	3.21
jungle	techno	2:32	15	52,769	5,620	1.33	8,778	2.08	10,141	2.40	2.18	2.21	2.30
regxg	pop	1:29	8	20,554	2,281	1.39	3,423	2.08	3,895	2.37	2.51	2.69	2.70
tec33xg	techno	1:04	11	15,432	1,677	1.36	2,572	2.08	2,870	2.32	2.43	2.68	2.85
interluo	jazz	2:20	3	2,917	341	1.46	507	2.17	543	2.33	2.18	2.20	2.17
arielcg	medium	2:29	8	22,564	2,928	1.62	3,982	2.21	4,451	2.47	2.20	2.32	2.32
workout	special	3:12	9	81,191	10,498	1.62	14,417	2.22	16,018	2.47	2.61	2.79	2.89
chill	techno	2:09	9	79,718	9,898	1.55	14,202	2.23	16,174	2.54	2.23	2.23	2.20
tekclass	techno	2:52	8	31,010	3,940	1.59	5,532	2.23	6,280	2.53	2.30	2.30	2.30
dnce1xg	techno	1:19	7	20,666	2,498	1.51	3,689	2.23	4,270	2.58	2.23	2.53	2.53
Journey	classic	3:29	13	22,313	3,126	1.75	4,059	2.27	4,922	2.76	2.28	2.50	2.50
spaceca	techno	3:49	14	89,207	10,718	1.50	16,403	2.30	19,114	2.68	2.40	2.42	2.42
cuba	techno	2:59	12	73,260	9,261	1.58	13,564	2.31	15,682	2.68	3.48	3.52	3.53
tiz	techno	2:58	9	60,359	8,036	1.66	11,191	2.32	13,577	2.81	2.45	2.80	2.86
ferryman	medium	4:04	12	55,528	8,242	1.86	10,386	2.34	11,866	2.67	2.92	2.94	2.96
northnx	world	1:16	7	26,235	3,673	1.75	4,929	2.35	5,846	2.79	3.06	3.19	3.30
fazeout	techno	1:00	8	16,076	2,180	1.70	3,101	2.41	3,496	2.72	2.41	2.41	2.42
sexrext	medium	2:14	9	31,343	4,012	1.60	6,047	2.41	6,856	2.73	2.42	2.42	2.43
somergx	special	2:42	9	12,623	1,649	1.63	2,441	2.42	2,898	2.87	2.42	2.40	2.40
far	techno	3:06	11	71,368	9,994	1.75	13,842	2.42	16,093	2.82	3.16	3.39	3.43
mbxg	funky	2:23	9	36,251	4,891	1.69	7,042	2.43	8,293	2.86	2.57	2.62	2.71
beatcg	pop	1:22	7	24,042	3,216	1.67	4,684	2.44	5,280	2.75	3.31	3.44	3.47
desire	techno	3:04	8	69,063	10,921	1.98	13,489	2.44	15,479	2.80	3.52	3.73	3.73
tec35xg	techno	0:36	8	18,314	2,541	1.73	3,586	2.45	4,192	2.86	2.47	2.48	2.49
ambient	filter	3:41	12	106,811	14,132	1.65	21,543	2.52	26,038	3.05	2.52	2.52	2.52
msc37xg	special	0:32	9	10,573	1,495	1.77	2,156	2.55	2,828	3.11	2.56	2.63	2.55
atmos	special	3:01	11	42,836	7,304	2.13	8,801	2.57	10,055	2.93	2.63	2.68	2.68
summe r	lite	3:16	11	51,851	7,515	1.81	10,771	2.60	13,045	3.14	3.03	3.32	3.38
techno	techno	3:01	8	55,980	8,559	1.91	11,762	2.63	13,451	3.00	3.01	3.01	3.02
pop33xg	pop	1:38	7	28,150	4,099	1.82	5,917	2.63	6,503	2.89	3.38	3.81	3.87
degroove	filter	2:59	11	75,379	11,052	1.83	16,694	2.77	20,420	3.39	3.63	3.65	3.65
latinxg	world	1:45	6	34,450	5,159	1.87	7,666	2.78	8,829	3.20	3.53	3.71	3.73
punchy	techno	1:54	9	59,451	9,765	2.05	13,341	2.81	15,446	3.25	3.71	3.87	3.88
timely	rock	1:02	10	19,442	2,962	1.90	4,402	2.83	5,194	3.34	2.83	2.83	2.83
trip	filter	3:03	8	51,364	8,571	2.09	11,732	2.86	13,106	3.19	2.86	2.86	2.86
shellshk	filter	3:27	12	97,951	14,540	1.86	22,421	2.86	26,922	3.44	2.87	2.87	2.88
choppyp	medium	2:12	10	31,145	4,742	1.90	7,198	2.89	8,306	3.33	2.88	2.88	2.88
rs2xg	rock	2:27	6	34,116	5,123	1.88	7,909	2.90	9,704	3.56	2.96	2.98	2.99
smokin	funky	3:16	13	59,455	9,303	1.96	14,224	2.99	17,115	3.60	3.02	3.03	3.04
stars	classic	4:02	15	45,813	7,692	2.10	11,080	3.02	14,007	3.82	3.04	3.06	3.17
nithim	techno	1:23	4	13,780	2,633	2.39	3,362	3.05	3,788	3.44	3.05	3.24	3.24
cognito	techno	2:53	9	59,254	10,099	2.13	14,884	3.14	18,115	3.82	3.25	3.49	3.53
fizzy	filter	1:19	8	19,144	3,360	2.19	4,829	3.15	5,560	3.63	3.16	3.37	3.37
jazz5xg	jazz	3:41	10	62,130	10,670	2.15	15,945	3.21	19,550	3.93	3.25	3.27	3.30
barking	classic	3:20	10	11,449	1,679	1.83	3,010	3.29	3,181	3.47	3.29	3.29	3.29
chatshow	techno	3:17	10	106,377	18,826	2.21	28,109	3.30	33,209	3.90	3.97	4.11	4.12
jazzjung	jazz	3:17	8	52,945	9,743	2.30	14,243	3.36	16,171	3.82	3.43	3.48	3.50
foxbabe	techno	2:04	9	35,700	6,522	2.28	9,690	3.39	11,409	3.99	3.48	3.52	3.54
thmprk02	holiday	0:12	5	1,929	337	2.18	544	3.53	652	4.22	3.53	3.53	3.53
sigma	techno	3:11	7	89,601	16,433	2.29	25,338	3.53	28,256	3.94	4.42	4.56	4.56
fussion	special	3:55	15	88,382	15,337	2.17	25,161	3.56	29,292	4.14	3.59	3.61	3.64
flares	techno	3:49	14	83,786	16,353	2.44	24,952	3.72	29,412	4.39	3.79	3.82	3.85
cafejung	medium	3:56	15	86,858	15,394	2.22	25,872	3.72	30,939	4.45	3.76	3.78	3.79
thmprk03	holiday	0:19	6	5,235	1,021	2.44	1,661	3.97	1,922	4.59	3.99	3.99	3.99
thmprk01	holiday	0:18	5	6,499	1,441	2.77	2,067	3.98	2,410	4.64	3.98	3.98	3.98
choralo	slow	1:07	4	1,841	335	2.27	590	4.01	629	4.27	4.01	4.01	4.01

File Name:
ファイル名
(拡張子".mid"は省略),

Category:
Free MIDI Data Library
におけるカテゴリ,

Time:
演奏時間(分:秒),

NoC:
使用チャンネル数,

File Size:
Cover SMFのファイルサイズ,

M(n):
n音対応stegokeyを使用した
際の埋込可能情報量,

ER(n):
n音対応stegokeyを使用した
際の埋込率,

M(IV):
理想的な埋込を仮定した際の
埋込可能情報量,

ER(IV):
理想的な埋込を仮定した際の
埋込率,

ER(8)_1/q:
1/qクオンタイズを施した際の
埋込率(8音対応stegokey使用).



井上 大介

昭和 49 年生。平成 10 年横浜国立大学工学部電子情報工学科卒業。平成 12 年同大学大学院工学研究科人工環境システム学専攻博士課程前期修了。現在、同大学院同専攻博士課程後期に在学中。匿名通信およびステガノグラフィに興味を持つ。

匿名通信およびステガノグラフィに興味を持つ。



松本 勉(正会員)

昭和 33 年生。昭和 61 年東京大学大学院博士課程(電子工学)修了。工学博士。同年横浜国立大学工学部専任講師。現在、同大学大学院環境情報研究院教授。昭和 56 年より主

として暗号や情報セキュリティの研究・教育に従事。「明るい暗号研究会」を数人の仲間とともに創り研究を始めた。国際暗号学会 IACR 理事。ASIACRYPT '96 プログラム委員長。ASIACRYPT 2000(国際暗号学会主催)実行委員長。電子情報通信学会より「情報セキュリティの基礎理論」への貢献に関して業績賞を受賞。