

14-Modulation de fréquence

Dans ce didacticiel, nous allons voir comment utiliser la modulation de fréquence pour générer des sons plus musicaux en appliquant le principe de la FM à un algorithme de synthèse capable de générer des timbres complexes qui varient dans le temps.

Eléments de synthèse FM

La modulation de fréquence (FM) s'est avérée être un moyen très polyvalent et efficace de synthétiser une grande variété de sons musicaux. Parce qu'elle permet de générer des spectres complexes qui peuvent varier dans le temps, elle est très efficace pour émuler des instruments acoustiques. De plus, le fait qu'elle utilise très peu d'oscillateurs pour produire des sons complexes la rend plus performante sur le plan informatique par rapport à la production des mêmes effets avec une synthèse additive.

La modulation de la fréquence d'une onde avec une autre onde génère de nombreuses bandes latérales, ce qui fait que le son de sortie contient beaucoup plus de fréquences que celles présentes dans les ondes porteuses et modulatrices elle-mêmes. Comme nous l'avons mentionné brièvement dans le chapitre précédent, les fréquences des bandes latérales sont déterminées par la relation entre la fréquence porteuse (F_c) et la fréquence du modulateur (F_m); la force relative des différentes bandes latérales (qui affecte le timbre) est déterminée par la relation entre l'amplitude du modulateur (A_m) et la fréquence du modulateur (F_m).

Grâce à ces relations, il est possible de réduire le contrôle de la synthèse FM à deux valeurs cruciales, qui sont définies comme des rapports entre les paramètres pertinents. La première valeur importante est le *rapport d'harmonicité*, défini par F_m / F_c ; il déterminera quelles fréquences sont présentes dans le son de sortie et si les fréquences ont une relation harmonique ou non harmonique. La deuxième valeur importante est *l'indice de modulation*, défini par A_m / F_m ; cette valeur affecte la 'brillance' du timbre en affectant la force relative des partiels.

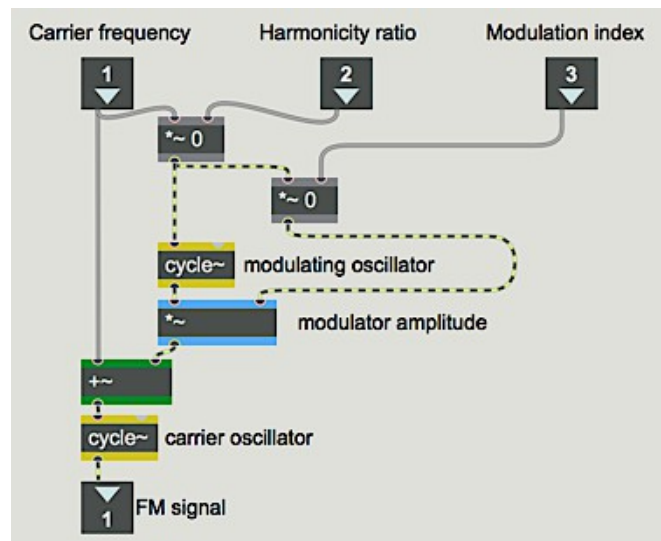
Les fréquences des bandes latérales sont déterminées par la somme et la différence de la fréquence porteuse, plus et moins des multiples entiers de la fréquence du modulateur. Ainsi, les fréquences présentes dans un son FM seront F_c , $F_c + F_m$, $F_c - F_m$, $F_c + 2F_m$, $F_c - 2F_m$, $F_c + 3F_m$, $F_c - 3F_m$, etc. Ceci est valable même si la fréquence de différence s'avère être un nombre négatif; les fréquences négatives sont entendues comme si elles étaient positives. Le nombre et la force des bandes latérales présentes sont déterminés par l'indice de modulation; plus l'indice est élevé, plus le nombre de bandes latérales d'énergie significative est élevé.

Détail technique: Dans l'article de John Chowning intitulé «Synthèse de spectres audio complexes par modulation de fréquence» et dans *Computer Music Tutorial* de Curtis Roads, il est question du rapport F_c / F_m . Cependant, dans *Elements of Computer Music* de F.R. Moore, il définit le terme rapport d'harmonicité comme étant F_m / F_c . L'idée dans tous les cas est la même: exprimer la relation entre la fréquence porteuse et la fréquence du modulateur sous forme de rapport. Dans ce didacticiel, nous utilisons la définition de Moore, car de cette façon, chaque fois que le rapport d'harmonicité est un nombre entier, le résultat sera un son harmonique avec F_c comme fondamentale.

Un subpatch FM: *simpleFM* ~

L'objet **simpleFM** ~ de ce patch de tutoriel n'est pas un objet MSP; c'est une abstraction qui implémente les idées de rapport d'harmonicité et d'indice de modulation.

- Double-cliquez sur l'abstraction d'objet **simpleFM** ~ pour afficher son contenu.



L'abstraction *simpleFM* ~

Le principal atout de cette abstraction est qu'elle permet de spécifier la fréquence de la porteuse, le rapport d'harmonicité et l'indice de modulation. Elle calcule ensuite la fréquence et l'amplitude du modulateur nécessaires (dans les objets * ~) pour générer le signal FM correct. L'abstraction est flexible en ce sens qu'elle accepte des signaux ou des nombres dans ses entrées, et que le taux d'harmonicité et l'indice de modulation peuvent être saisis comme arguments dans le patch principal.

- Fermez l'abstraction [**simpleFM** ~].

Produire différentes tonalités FM

Dans le patch principal, la fréquence porteuse et le rapport d'harmonicité sont fournis à *simpleFM* ~ sous forme de valeurs constantes, et l'indice de modulation est fourni sous la forme d'un signal variant dans le temps généré par l'enveloppe à l'aide de l'objet *function*.

Comme l'indice de modulation est le principal déterminant du timbre (brillance) et comme le timbre de la plupart des sons réels varie dans le temps, l'indice de modulation est un candidat de choix pour être contrôlé par une enveloppe. Cette enveloppe de timbre peut ou non correspondre exactement à l'amplitude du son. De sorte que dans le patch principal, une enveloppe est utilisée pour contrôler l'amplitude et une autre pour contrôler la brillance.

Chacun des préréglages contenus dans l'objet *preset* possède des paramètres permettant de produire un type différent de timbre FM, comme décrit ci-dessous.

- Activez l'audio et cliquez sur le premier préréglage dans l'objet *preset* pour rappeler certains paramètres de l'instrument. Cliquez sur le *button* pour jouer une note. Réglez le curseur de *gain* ~ sur un volume confortable, car certains préréglages sont plus forts que d'autres. Pour entendre chacune des sonorités de préréglage, cliquez sur un préréglage différent dans l'objet *preset* pour rappeler les réglages de l'instrument, puis cliquez sur le *button* pour jouer une note.

Preset 1. La fréquence porteuse correspond à la hauteur C, à une octave au-dessous du C médian. La valeur non entière du rapport d'harmonicité entraîne un ensemble de partiels inharmoniques. Ce spectre inharmonique, la chute régulière de l'indice de modulation de brillant à l'état pur et la longue décroissance exponentielle de l'amplitude se combinent pour donner un son métallique semblable à

une cloche.

Préset 2. Cette sonorité est similaire à la première, mais avec une valeur harmonique (légèrement mal accordée) pour le rapport d'harmonicité, de sorte que la sonorité ressemble donc davantage à celle d'un piano électrique.

Préset 3. Une valeur 'irrationnelle' (1 sur la racine carrée de 2) pour le rapport d'harmonicité, un faible indice de modulation, une courte durée et une enveloppe caractéristique se combinent pour conférer à ce son une qualité de batterie quasiment réaccordée.

Préset 4. Dans les cuivres, la brillance est étroitement liée à l'intensité. Ainsi, pour obtenir un son semblable à celui d'une trompette dans cet exemple, l'enveloppe de l'index de modulation suit essentiellement l'enveloppe d'amplitude. L'enveloppe d'amplitude est également caractéristique des cuivres, avec une attaque lente et un faible déclin. Le diapason est un G au-dessus du C moyen et le rapport d'harmonicité est de 1 pour un spectre entièrement harmonique.

Préset 5. Sur la trompette, une note plus aiguë nécessite généralement une attaque plus forte; ainsi, la même enveloppe appliquée à une durée plus courte, et une fréquence porteuse pour le C aigu, émulent une note staccato de trompette aiguë.

Préset 6. La même hauteur et la même harmonique, mais avec une attaque percutante et un faible indice de modulation, donnent un son de xylophone.

Préset 7. Un rapport d'harmonicité de 4 donne un spectre qui met l'accent sur les harmoniques impaires. Ceci, combiné à un faible indice de modulation et à une attaque lente, produit un son semblable à celui d'une clarinette.

Préset 8. Bien sûr, le vrai plaisir de la synthèse FM réside dans les timbres surréalistes que vous pouvez créer en choisissant des valeurs peu orthodoxes pour les différents paramètres. Ici, un indice de modulation extrême et très fluctuant produit un son différent de celui produit par tout objet acoustique.

- Vous pouvez expérimenter avec vos propres enveloppes et paramètres pour découvrir de nouveaux sons FM. Lorsque vous avez terminé, cliquez sur *ezdac* ~ pour désactiver le son.

Comme pour la modulation d'amplitude, la modulation de fréquence peut également être réalisée à l'aide de sons complexes. Les sinusoïdes ont traditionnellement été les plus utilisées car elles donnent les résultats les plus prévisibles, mais de nombreux autres sons intéressants peuvent être obtenus en utilisant des tonalités complexes pour les signaux de porteuse et de modulateur.

Résumé

La synthèse FM est une technique efficace pour émuler des sons instrumentaux acoustiques ainsi que pour générer de nouveaux sons inhabituels.

Les fréquences présentes dans un son FM sont égales à la fréquence porteuse plus et moins des multiples entiers de la fréquence du modulateur. Par conséquent, l'harmonicité du son peut être décrite par un seul nombre - le rapport entre les fréquences du modulateur et de la porteuse - parfois appelé le rapport d'harmonicité. L'amplitude relative des partiels dépend du rapport entre l'amplitude du modulateur et sa fréquence, appelée indice de modulation.

Dans la plupart des instruments acoustiques, le timbre change au cours du temps, de sorte que le contrôle d'enveloppe de l'indice de modulation est approprié pour produire des sons intéressants. Un taux d'harmonicité non entier donne un spectre inharmonique et, lorsqu'il est associé à une enveloppe d'amplitude de type percussion, il peut produire des sons semblables à ceux d'un tambour et d'une cloche. Un rapport d'harmonicité entier combiné à une enveloppe d'index de modulation et une enveloppe d'amplitude appropriées peut produire une variété de sons d'instruments à hauteur.